



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**ÁGUAS PLUVIAIS:  
ANÁLISE DE PROBLEMAS DE NOVOS LOTEAMENTOS,  
ESTUDO DE CASO DO SETOR HABITACIONAL ARNIQUEIRA–  
DF**

**PROJETO FINAL 2**

**JOÃO LUCAS DO CARMO PONCIANO**

**10/0013899**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**ÁGUAS PLUVIAIS:  
ANÁLISE DE PROBLEMAS DE NOVOS LOTEAMENTOS,  
ESTUDO DE CASO DO SETOR HABITACIONAL ARNIQUEIRA–  
DF**

**PROJETO FINAL 2**

**JOÃO LUCAS DO CARMO PONCIANO 10/0013899**

**ORIENTADOR: PROF. SERGIO KOIDE**

**CO-ORIENTADORA: MARIA ELISA LEITE COSTA**

**BRASÍLIA, JUNHO DE 2016**

“A inteligência é boa, a persistência é melhor. ”

Hermann Hesse

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiro aquele que ensinou que o amor vem acima de tudo e sem o amor dEle nada seria possível.

Agradeço aos meus pais, Marzi e Márcio, e irmã, Ana Izabel, que sempre foram minha base, me ensinaram a pôr a alma em tudo o que fiz e que eu não fazia mais que minha obrigação em ser feliz. A toda minha família em especial à minha avó que me ensinou a fazer tudo com um sorriso, ao Tiago e o Tio Marcion por toda humildade, a Karolina por me ensinar a defender aquilo que acredito e a Mariana e o João Pedro por toda a alegria.

Ao Professor Koide e a Maria Elisa por todos os ensinamentos, sabedoria, paciência e conselhos nesse ano de trabalho. A todos os professores e funcionários da UnB que contribuíram para minha formação, não só como profissional, mas como pessoa.

Agradeço também à Ana Carolina e a Camila por toda a ajuda, amizade e conselhos que foram essenciais para a elaboração desse trabalho.

Ao Pedro, Caprini, Henrique e Kevin por serem os maus amigos que são, afinal as más amizades são as que ficam. Assim como os outros amigos do ensino médio, em especial a Girão que me ensinou que na grosseria existe amor.

Aos amigos feitos na faculdade por toda cumplicidade, particularmente aos amigos das primeiras turmas, a Isadora por todo amor, conselhos e risadas, a Sgarioni pelas histórias vividas, ao Tadeu pelas risadas e amizade e ao Samuel pela irmandade criada na graduação.

Aos meus amigos do intercâmbio que me mostraram que o amor não tem cor, língua ou gênero e que ele é belo em todas as suas formas.

A todos os amigos que, assim como minha família, são minha maior riqueza.

Ao Renan, Marcelo e Wilde por todos os ensinamentos e risadas, bem como a todos do meu estágio na Caesb.

A Ana Carla por todo o carinho, alegrias, risadas e coragem compartilhados.

Agradeço à Topocart, Terracap e Caesb pela disponibilidade, confiança e dados fornecidos, fatores os quais permitiram a elaboração desse trabalho. A Chiwater pela licença do PCSWMM.

Agradeço a todos que de alguma forma fizeram parte desse trabalho e de toda a trajetória da graduação.

“Até mais e obrigado pelos peixes! ”

## RESUMO

A urbanização é um dos maiores agentes transformadores do uso do solo em uma bacia hidrográfica. Entre as transformações que mais causam impacto está a impermeabilização do solo que muda os caminhos da precipitação e faz alterações no ciclo hidrológico. Um resultado dessas alterações é uma vazão maior chegando em um curto espaço de tempo nos corpos d'água, além de inundações a jusante e a poluição difusa gerada. Os sistemas convencionais de manejo de águas pluviais não somente aceleram esses processos, mas também os intensificam podendo causar perdas materiais e até mesmo humanas. Visando a diminuir as consequências da interferência urbana sobre o escoamento superficial as técnicas compensatórias surgiram, com o intuito de reestabelecer o deflúvio gerado na pré-urbanização, diminuindo assim as consequências sobre a hidrologia urbana. Dentre essas técnicas compensatórias estão as bacias de retenção e retenção. Em uma área de ocupação espontânea a instalação da infraestrutura se mostra um desafio, incluindo aí o manejo de águas pluviais. Nesse contexto, este trabalho avaliou as consequências sobre o escoamento superficial da urbanização não planejada do Setor Habitacional Arniqueira – SHAr, além do sistema de drenagem proposto e das técnicas compensatórias passíveis de implementação. A avaliação foi feita por meio do estabelecimento de cenários no modelo hidrológico PCSWMM, considerando diferentes quadros de uso e ocupação do solo e de manejo das águas pluviais. Os resultados confirmaram a expectativa de uma grande transformação causada pela urbanização, por meio da comparação dos hidrogramas gerados. Os resultados também apontaram as consequências da utilização de sistemas convencionais de drenagem sem qualquer técnica compensatória, que geraram os maiores deflúvios, e evidenciam a importância das medidas para amortecimento do escoamento superficial.

**Palavras-chave:** Hidrologia Urbana. Técnicas Compensatórias. PCSWMM. Modelagem Hidrológica.

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS .....	iv
RESUMO.....	v
SUMÁRIO.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE EQUAÇÕES .....	xi
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS .....	xii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS .....	4
2.1 OBJETIVO GERAL .....	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	5
3.1 ESCOAMENTO SUPERFICIAL .....	5
3.2 SISTEMAS DE DRENAGEM .....	5
3.2.1 Canais Naturais .....	5
3.2.2 Efeitos da Urbanização .....	6
3.3 INUNDAÇÕES EM CENTROS URBANOS .....	10
3.4 MEDIDAS DE CONTROLE DE INUNDAÇÕES .....	13
3.4.1 Medidas Estruturais e Não Estruturais .....	13
3.4.2 Medidas na fonte, micro e macrodrenagem.....	14
3.5 SISTEMAS CONVENCIONAIS E TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS ....	16
3.6 OCUPAÇÕES ESPONTÂNEAS .....	22
3.7 MODELAGEM MATEMÁTICA.....	23
3.7.1 Modelagem Hidrológica .....	23
3.7.2 O Modelo SWMM.....	24
4 METODOLOGIA.....	26
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	26
4.1.1 Histórico do Setor Habitacional Arniqueira .....	26
4.1.2 Composição Socioeconômica e Urbanística.....	28
4.1.3 Fatores Ambientais .....	30
4.2 MODELAGEM HIDROLÓGICA.....	33
4.2.1 Dados Necessários Ao Modelo.....	33
4.2.2 Obtenção dos Dados .....	34
4.3 DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS .....	39
4.4 CÁLCULO DOS RESERVATÓRIOS DE QUANTIDADE E QUALIDADE.....	40

5	RESULTADOS .....	42
5.1	CARACTERIZAÇÃO DO SETOR HABITACIONAL ARNIQUEIRA.....	42
5.1.1	Solos .....	42
5.1.2	Relevo .....	44
5.1.3	Uso e Ocupação do Solo e Curva Número .....	45
5.1.4	Sistema de Drenagem .....	48
5.2	REDE DE DRENAGEM PROPOSTA.....	50
5.3	CARACTERIZAÇÃO DOS CENÁRIOS .....	53
5.4	SIMULAÇÃO E COMPARAÇÃO DE CENÁRIOS .....	59
5.4.1	Chuva de Projeto do PDDU .....	59
5.4.2	Chuva de Projeto da NOVACAP .....	67
5.5	BACIAS SEM CONTROLE DE VAZÃO NA SAÍDA .....	71
6	CONCLUSÕES .....	73
	REFERÊNCIAS .....	75

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Mudança no Ciclo Hidrológico pela Urbanização Fonte: ReCESA, 2007. ....	6
Figura 3.2 - Hidrogramas Natural e Urbanizado .....	7
Figura 3.3 - Ocupação Urbana de Áreas de Inundação .....	12
Figura 3.4 - Drenagem na Fonte, Micro e Macrodrenagem .....	16
Figura 3.5a - Trincheira de Infiltração <sup>1</sup> .....	19
Figura 3.6a - Pavimento Permeável <sup>3</sup> .....	20
Figura 3.7b - Bacia de Detenção.....	20
Figura 3.8b - Bacia de Retenção <sup>6</sup> .....	21
Figura 3.9 - Sub-bacia do SWMM. Fonte: Rossman, 2009.....	25
Figura 4.1 - Fotografia Aérea (1964). Fonte: SEDHAB. ....	26
Figura 4.2 - Fotografia Aérea (1991). Fonte: SEDHAB. ....	27
Figura 4.3 - Fotografia Aérea (2013). Fonte: SEDHAB. ....	28
Figura 4.4 - Acessos e Poligonal de Estudo .....	29
Figura 4.5 - Bacia e Unidade Hidrográficas. ....	30
Figura 4.6 - Hidrografia SHAr.....	31
Figura 4.7 - Precipitações Médias Mensais .....	32
Figura 4.8 - Fluxogram da Modelagem Hidrológica.....	33
Figura 5.1 - Tipos de Solo .....	42
Figura 5.2 - Grupos Hidrológicos .....	43
Figura 5.3 - Modelo Digital de Elevação.....	44
Figura 5.4 - Declividade .....	45
Figura 5.5 - Uso do Solo (1964) .....	46
Figura 5.6 - Uso do Solo (2013) .....	46
Figura 5.7 - Curva Número (1964) .....	47
Figura 5.8 - Curva Número (2013) .....	47
Figura 5.10 - Erosão no SHAr .....	48
Figura 5.9 - Lançamento Irregular de Drenagem .....	48
Figura 5.11 - Divisão das Sub-bacias do Córrego Vicente Pires.....	49
Figura 5.12 - Microdrenagem para o SHAr Fonte: Topocart,2014 .....	50
Figura 5.13 - Pavimento Permeável para o SHAr .....	50
Figura 5.14 - Lançamento em Área Verde .....	51
Figura 5.15 - Proposta de Manejo de Águas Pluviais no SHAr .....	52
Figura 5.16 - Sub-Bacias de Drenagem Estudadas.....	53
Figura 5.17 - Cenários de Pré-Urbanização e Atual .....	54
Figura 5.18 - Cenário com Rede.....	55
Figura 5.19 - Cenário com Bacia .....	56
Figura 5.20 - Seleção da Área de Implementação da Bacia de Detenção .....	57
Figura 5.21 - Cenário com Bacias de det. e ret.....	58
Figura 5.22 - Chuva de Projeto PDDU .....	59
Figura 5.23 - Saída da Sub-Bacia 01 .....	60
Figura 5.24 - Saída da Sub-Bacia 01 para Cenário de Pré-Urbanização e Cenário Atual .....	60
Figura 5.25 - Saída da Sub-Bacia 01 para Cenário com Rede e Cenário com Bacia ..	61
Figura 5.26 - Saída da Sub-Bacia 02 .....	62
Figura 5.27 - Saídas para os cenários com Bacia Det. e Ret. E com Rede.....	62
Figura 5.28 - Saída da Sub-Bacia 03 .....	63



Figura 5.29 - Saída da Sub-Bacia 03 para Cenário com Bacias de det. e ret. e Cenário com Bacia .....	64
Figura 5.30 - Condutos C128 e C129 com Sobrecarga .....	65
Figura 5.31 - Localização do Conduto C167 com Sobrecarga em Cenário com Rede e Cenário com Bacia.....	66
Figura 5.32 - Localização dos Condutos C128 e C129 com Sobrecarga em Cenário com Bacias de det. e ret. ....	66
Figura 5.33 - Saída da Sub-Bacia 01 .....	67
Figura 5.34 - Saída da Sub-Bacia 02 .....	68
Figura 5.35 - Saída da Sub-Bacia 03 .....	68
Figura 5.36 - Animação do PCSWMM para a Sub-bacia 02.....	70
Figura 5.37 - Saída da Sub-bacia 03 com Bacia de Detenção .....	71
Figura 5.38 - Saída da Sub-bacia 03 com Bacia de Detenção e Retenção .....	72

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Poluentes Urbanos: Origem e Impactos .....	9
Tabela 4.1 - Uso e Ocupação do Solo. Fonte: Ferrigo (2014) – Adaptada.....	35
Tabela 4.2 – Grupos Hidrológicos de Solos . Fonte: Tucci et al. (1993). ....	36
Tabela 4.3– Curva Número. Fonte: Tucci et al. (1993) – Adaptada. ....	36
Tabela 5.1 - - Volumes e Vazões de Saída para as Sub-Bacias 01 e 03 .....	55
Tabela 5.2 - – Volume e Vazão de Saída para a Bacia de Detenção do Cenário com Bacias de det. e ret. ....	57
Tabela 5.3 – Condutos sob Sobrecarga.....	64
Tabela 5.4 – Condutos sob Sobrecarga.....	69

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 4.1.....	38
Equação 4.2.....	38
Equação 4.3.....	38
Equação 4.4.....	39
Equação 4.5.....	40
Equação 4.6.....	41
Equação 4.7.....	41

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

<b>Sigla</b>	<b>Descrição</b>
ADASA	Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal
AID	Área de Influência Direta
AII	Área de Influência Indireta
APP	Área de Proteção Permanente
CN	Curva Número
DEM	Modelo Digital de Elevação
DF	Distrito Federal
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EPA	Agência de Proteção Ambiental Norte-americana
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
km	Quilômetro
l/(s×ha)	Litros por segundo hectare
m/m	Metro por metro
m <sup>3</sup>	Metros cúbicos
m <sup>3</sup> /s	Metros cúbicos por segundo
min	Minuto
mm	Milímetros
mm/h	Milímetros por hora
OD	Oxigênio Dissolvido
PDDU	Plano Diretor de Drenagem Urbana
PDOT	Plano Diretor de Ordenamento Territorial
RA	Região Administrativa
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
SHAr	Setor Habitacional Arniqueira
SHBS	Setor Habitacional Bernardo Sayão
SWMM	Storm Water Management Model

# 1 INTRODUÇÃO

A humanidade sempre esteve de alguma forma ligada aos cursos d'água, as cidades cresceram próximas aos rios para que assim pudessem ter acesso a abastecimento, higiene e transporte hidroviário de forma direta. Contudo isso acarretava também em riscos como inundações (Baptista *et al.*, 2005). Observa-se que a parcela da população com maior memória sobre os eventos de inundação são os que se localizam em locais com cota mais segura (Tucci, 2003).

A impermeabilização do solo causada por meio da urbanização muda os caminhos percorridos pelas águas precipitadas. Aquelas que infiltravam passam a escoar, aumentando o volume desse escoamento. Outras consequências ligadas à impermeabilização são a aceleração do escoamento que passa a correr por condutos, canais e mesmo vias e, com isso, há uma maior quantidade de água chegando, em um curto espaço de tempo, nos sistemas de drenagem e as águas que eram direcionadas à vegetação e áreas permeáveis para recarga de aquíferos, passam a ir para os cursos d'água causando grandes impactos qualitativos e quantitativos sobre esses. Além dos impactos sobre os cursos d'água a urbanização pode causar inundações a jusante, devido às grandes quantidades de água que chegam nos sistemas de drenagem em um curto intervalo de tempo e a maneira como os sistemas de drenagem têm sido projetados.

A drenagem urbana, segundo a visão higienista, tem como princípio drenar a água das precipitações o mais rápido possível para jusante. Esse tipo de solução, muito utilizada ainda hoje, transfere a inundação de um ponto para outro a jusante na bacia hidrográfica. Esse tipo de atuação é realizado pensando sobre o efeito e não sobre as causas do aumento do escoamento e tem sido cada vez menos utilizada para dar lugar às medidas compensatórias. As medidas compensatórias na área de drenagem urbana buscam técnicas que têm por objetivo o acréscimo da infiltração e o retardo do escoamento. Dentro desse novo tipo de abordagem, o uso de pavimentos permeáveis, trincheiras e valas de infiltração e bacias de detenção e retenção são opções que permitem que esses objetivos sejam alcançados (Alessi *et al.*, 2006).

O manejo de águas pluviais urbanas pode ser dividido em duas vertentes. A primeira voltada à infraestrutura, os elementos hidráulicos estruturais, e práticas de contenção e transporte das águas pluviais agindo tanto nas fontes geradoras de deflúvio

superficial, como lotes, praças e parques, como nos sistemas viário, de micro e macrodrenagem, de transposição e do carreamento e deposição de resíduos sólidos. A segunda cuida dos dispositivos legais e de administração da infraestrutura de drenagem, como a manutenção e operação do sistema, fiscalização e medidas de remediação, dadas as anomalias naturais ou geradas pela dinâmica de ocupação do espaço urbano (Righetto, 2009). A dinâmica de ocupação e uso do solo tem forte influência sobre o comportamento das águas pluviais, o que afeta os sistemas de drenagem. No Brasil a ocupação do solo acontece, muitas vezes, de forma espontânea excluindo assim elementos básicos de infraestrutura, como a própria drenagem.

O Distrito Federal tem um longo histórico de ocupações espontâneas, que vem desde a sua origem e perdura até os dias de hoje. Uma dessas novas ocupações é o Setor Habitacional Arniqueira (SHAr), que tem origem em um parcelamento de chácaras pertencentes à uma colônia agrícola homônima. Localizada entre as cidades de Taguatinga, Guará, Riacho Fundo e Águas Claras, a cidade sofre com um sistema de drenagem falho em alguns trechos e inexistentes em outros, o que causa inundações, erosões, entre outros problemas ligados à drenagem urbana.

Uma maneira de tratar, de forma mais segura, os projetos de drenagem urbana é a previsão do comportamento desses sistemas e, com esse objetivo é importante um enfoque de análise e avaliação de processos em bacias hidrográficas baseado no uso de modelos matemáticos capazes de simular o comportamento dos sistemas de drenagem de águas pluviais sob condições pré-determinadas (Righetto, 2009). Um dos modelos mais utilizados é o Storm Water Management Model (SWMM), uma de suas extensões é o PCSWMM uma plataforma em GIS desenvolvida pela Chiwater. Entre os resultados possíveis de se simular com o modelo estão processos hidrológicos e hidráulicos, além da qualidade da água. O programa SWMM além de apresentar uma grande flexibilidade na realização das análises, é também um software livre, o que permite uma maior aplicabilidade.

Neste trabalho serão avaliados diferentes cenários de uso e ocupação do solo e suas influências sobre o escoamento superficial para a região do Setor Habitacional Arniqueira, desde a situação da área na pré-urbanização, passando pela situação atual até a implantação do sistema de drenagem projetado pela Topocart, o qual ainda depende da aprovação da Novacap.

Este trabalho tem sua estrutura dividida em objetivos (capítulo 2), os quais definem os propósitos deste trabalho; fundamentação teórica (capítulo 3), que descreve os sistemas de drenagem naturais, os efeitos da urbanização sobre esses, as inundações urbanas, as medidas de controle e os sistemas convencionais, técnicas compensatórias em drenagem, além das ocupações espontâneas e a modelagem matemática aplicada à hidrologia; metodologia (capítulo 4), apresenta uma caracterização da área de estudo, a descrição de como serão preparados os dados de entrada e a realização da modelagem, e ainda os cenários a serem simulados e a forma de cálculo dos reservatórios de quantidade e qualidade; resultados (capítulo 5), traz a descrição de algumas características do setor habitacional Arniqueira, bem como os problemas apresentados por ele relacionados a drenagem, a proposta de rede de drenagem, a caracterização dos cenários simulados e os resultados das simulações; e conclusões (capítulo 6).

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

O objetivo do trabalho é estudar os diferentes cenários de ocupação e uso do solo e seus impactos no manejo de águas pluviais no Setor Habitacional Arniqueira.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Estudar as potencialidades do modelo PCSWMM no estudo de manejo de águas pluviais;
- Analisar as consequências da urbanização nas vazões geradas pelas no SHAr por meio da ferramenta computacional PCSWMM;
- Avaliar a eficácia de medidas compensatórias como as bacias de retenção e retenção para o local de estudo;
- Comparar diferentes sistemas de drenagem urbana, incluindo o natural, o existente e o sistema de drenagem proposto pela Topocart/Novacap.



### **3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

#### **3.1 ESCOAMENTO SUPERFICIAL**

O deflúvio gerado em uma bacia é influenciado por várias características hidrológicas como topografia, clima, solo, geologia e os usos e ocupação do solo. Um dos componentes desse deflúvio é o escoamento superficial ocasionado por precipitações. Quando essas alcançam o solo e não sofrem infiltração, dão início ao fenômeno. Esse escoamento superficial é dividido em escoamento direto e o escoamento de base (Righetto, 2009).

O escoamento de base dá origem as águas subterrâneas e aquíferos pertencentes a bacia hidrográfica. O escoamento direto corresponde ao deflúvio gerado pela bacia no decorrer e imediatamente após a ocorrência de um evento chuvoso. O escoamento direto é de extrema importância em hidrologia urbana, já que representa a resposta de uma bacia à ocorrência das chuvas e a capacidade de retenção desta chuva por um determinado período. Quando a capacidade de retenção é pequena podem ocorrer alguns problemas a jusante como inundações. Em bacias de menor porte (microbacias), que são comuns em espaços urbanos, um dos fatores mais influentes sobre a resposta ao escoamento direto é o uso do solo (Righetto, 2009).

#### **3.2 SISTEMAS DE DRENAGEM**

##### **3.2.1 Canais Naturais**

O sistema hidrológico natural tende ao equilíbrio. Esse equilíbrio é relativo, entretanto, todos os processos dentro desse sistema ocorrem de forma contínua, uma vez que não ocorram interferências externas (ASCE, 1992).

O tamanho, forma e declividade do canal são funções de variáveis inter-relacionadas assim como as características do solo, litologia, largura, profundidade, velocidade, declividade, depósito de sedimentos, tamanho de sedimentos, vazão e rugosidade. O canal é capaz de se adaptar para as vazões naturais recebidas, qualquer mudança nos fatores controladores causará um deslocamento no equilíbrio que tenderá a absorver a mudança (ASCE, 1992).

Sempre quando a quantidade de chuva excede a interceptação pela vegetação e infiltração no solo, a água se acumula na superfície e escoar, preenchendo depressões do terreno pelo caminho antes de se concentrar em pequenos canais. Esses pequenos canais

transmitem o escoamento superficial para os lençóis freáticos ou para canais maiores, ou ainda canais de drenagem construídos pelo homem (ASCE, 1992).

### 3.2.2 Efeitos da Urbanização

Segundo Tucci e Bertoni (2003) o termo urbanização pode ser definido como “a ação sobre a urbi” ou “o processo de transformar em cidade”, e essa é uma das mais significativas manifestações de atividade humana. (Righetto, 2009).

A urbanização é uma das mudanças que podem ocorrer sobre os fatores controladores que interrompem o equilíbrio natural. Um dos maiores problemas é a alteração do uso e ocupação do solo ocasionado pela urbanização, que altera a resposta hidrológica a um evento chuvoso. A expansão das áreas urbanizadas pode ser caracterizada principalmente pela impermeabilização da bacia, o que diminui a capacidade de armazenamento e aumenta o escoamento superficial e sua velocidade, por consequência, a capacidade de infiltração da bacia diminui e o risco de inundações aumenta (Ravazzani *et al.*, 2015). Segundo Benini e Mendiondo (2015) quando essa urbanização ocorre de forma desordenada pode acarretar em riscos à saúde e vida humana. O escoamento urbano causado pela impermeabilização urbana pode gerar, localmente, aumento no pico de escoamento superficial. O efeito sobre a vazão aumenta de acordo com o aumento da porcentagem da bacia que está submetida a urbanização. A Figura 3.1 ilustra esse efeito:

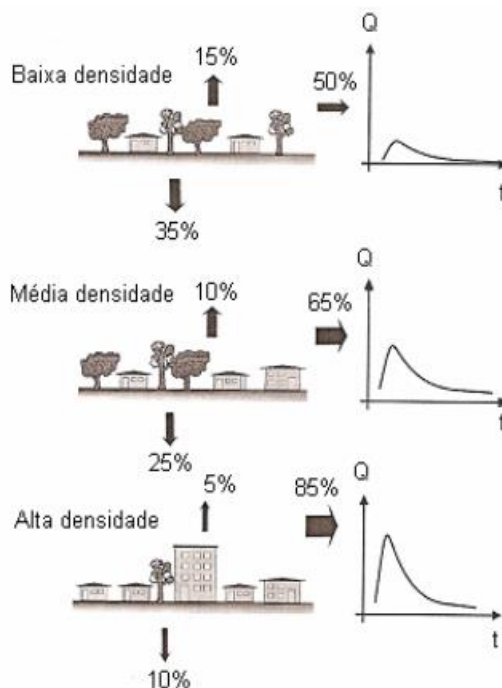


Figura 3.1 - Mudança no Ciclo Hidrológico pela Urbanização Fonte: ReCESA, 2007.

### 3.2.2.1 A ocupação do espaço urbano e a geração de deflúvios

Sob condições naturais, perdas como a evapotranspiração, interceptação por copas de árvores e infiltração no solo, tendem a ser maiores. Já sob condições urbanizadas, o crescimento da área impermeabilizada na bacia aumenta o escoamento superficial. Pavimentos, calhas e encanamentos conduzem de forma mais rápida as vazões do que superfícies naturais. As práticas relacionadas com estreitamento e linearização de rios naturais aumentam as velocidades de fluxo (ASCE, 1992). As hidrógrafas de áreas urbanizadas se diferem das áreas naturais, principalmente, de quatro diferentes formas:

1. O volume total de escoamento superficial é maior;
2. O escoamento superficial ocorre de forma mais rápida;
3. O pico de vazão é maior;
4. O tempo de concentração é menor.

As diferenças são evidenciadas quando se coloca graficamente as hidrógrafas sobrepostas, conforme figura 3.2.

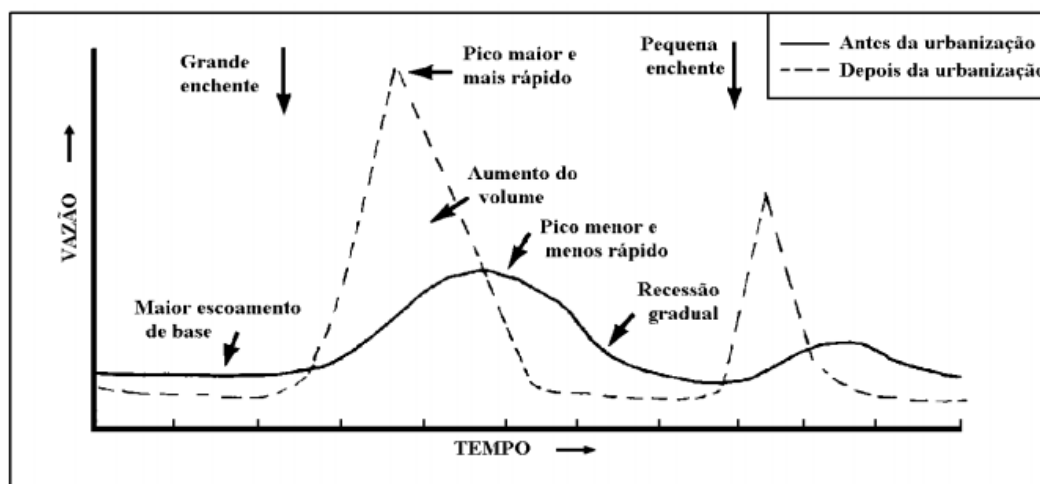


Figura 3.2 - Hidrogramas Natural e Urbanizado  
Fonte: Tucci, 2003.

Para entender o gráfico deve-se ter em mente que com a impermeabilização do solo através de telhados, ruas, calçadas e pátios, a água que infiltrava, passa a escoar pelos condutos, aumentando o escoamento superficial. Na medida que isso acontece, há a aceleração do escoamento através de condutos, canais ou vias, o que acarreta numa maior quantidade de água que chega em um curto intervalo de tempo nos sistemas de drenagem, isso explica o pico de vazão maior e mais rápido. Como não há armazenamento a recessão também ocorre de forma rápida. Esse pico aumenta a frequência de inundações em comparação com as condições naturais, quando a superfície era permeável e o escoamento

se dava de forma natural. O volume que escoava lentamente pela superfície do solo e ficava retido pelas plantas, com a urbanização, passa a escoar no canal, exigindo maior capacidade de escoamento das seções (Tucci, 2003).

A ocupação urbana causa modificação no padrão de escoamento superficial na bacia, à medida que as áreas naturais são substituídas por áreas impermeabilizadas, os processos de infiltração e retenção da água são reduzidos, o que causa um aumento significativo dos deflúvios superficiais nas áreas a jusante. A precipitação também pode gerar um outro tipo problema, a poluição difusa. Em seu caminho a água escoada superficialmente entra em contato com diversos compostos poluentes, alterando sua qualidade. O escoamento de água de chuva pode apresentar elevadas concentrações de sedimentos e outros elementos que são considerados como poluentes. Algumas classes de poluentes comumente encontrados em estudos de qualidade das águas de chuva incluem sólidos suspensos, metais pesados, nutrientes, matéria orgânica, substâncias com baixo OD e bactérias. Os resíduos sólidos por meio do acondicionamento, coleta e transporte inadequados podem ser uma das maiores fontes de poluentes no Brasil. Já a construção civil pode ser uma fonte de sedimentos e entulho. Outras fontes de poluição incluem emissões de particulado de sistemas de calor e processos industriais, fertilizantes e pesticidas de áreas agrícolas, óleos e metais de carros, águas de lavagem de estabelecimentos comerciais como oficinas mecânicas e solventes derramados no sistema de drenagem. Quando essas águas são lançadas no corpo receptor, podem contaminar rios, lagos, lençóis freáticos ou aquíferos subterrâneos (ASCE, 1992; Righetto, 2009).

As fontes de poluição difusa são resultado das atividades humanas desenvolvidas no processo de ocupação e uso do solo na bacia urbana. Ele pode degradar a qualidade da água no meio urbano o que causa impactos nos aspectos sociais, econômicos e ambientais, como os subsequentes (Righetto, 2009):

- Mortandade de organismos aquáticos e problemas relacionados à esses ecossistemas;
- Problemas relacionados com a proliferação de doenças de veiculação hídrica;
- Degradação da qualidade da água, afetando seus usos;
- Custos financeiros para o tratamento da água e remoção de poluentes.

A tabela 3.1 apresenta alguns impactos causados, bem como suas fontes e principais poluentes causadores encontrados no meio urbano.

Tabela 3.1 - Poluentes Urbanos: Origem e Impactos  
(Fonte: Righetto, 2009).

<b>Poluentes</b>	<b>Origem</b>	<b>Impactos</b>
Nitrogênio e fósforo	Sistemas sépticos inadequados; desmatamento; fertilizantes.	Reduz o OD; crescimento de algas; degradação da água de consumo.
Sedimentos	Obras de construção; áreas desmatadas; processos erosivos.	Aumento da turbidez; redução do OD; degradação da vida aquática.
Organismos Patogênicos	Lançamento de efluentes domésticos; sistemas sépticos inadequados.	Riscos à saúde humana pelo consumo; inviabilidade do uso recreacional.
Metais Pesados	Processos industriais; resíduos de óleo de motor; mineração; queima de combustíveis.	Toxicidade da água e sedimento; acumulação na atividade biológica e na cadeia alimentar.
Pesticidas; Produtos sintéticos	Herbicidas, fungicidas, inseticidas; processos industriais; lavagem de solos contaminados.	Toxicidade da água e sedimento; acumulação na atividade biológica e na cadeia alimentar

A ocupação urbana aumenta significativamente a velocidade do escoamento superficial, o que aumenta o potencial de erosão do solo, que por sua vez reflete no transporte de sedimentos que assoreiam rios e lagos. O assoreamento diminui o volume útil dos corpos d'água e diminui a capacidade de retenção, aumentando o risco de inundações (Righetto, 2009). Um caso de corpo d'Água que sofre com o assoreamento é o Lago Paranoá (Araújo, 2015).

### 3.3 INUNDAÇÕES EM CENTROS URBANOS

O desenvolvimento das cidades se deu, historicamente, próximo aos cursos d'água, com a ocupação territorial urbana sem o devido planejamento integrado das diversas infraestruturas necessárias, desencadeando o problema da drenagem urbana, dado por eventos hidrológicos de alta intensidade. Em um primeiro momento as inundações ocorriam em áreas que pertencem a calha secundária do corpo d'água. Com a expansão da ocupação urbana, pela falta de uma legislação e/ou uma fiscalização do uso adequado do solo, os problemas de inundações e enchentes se intensificaram e distribuíram-se pelas linhas de escoamento do deflúvio, em função da planialtimetria e do grau de impermeabilização da área de drenagem (Righetto, 2009).

O aumento da população urbana no século XIX revelou a precariedade da infraestrutura existente nas cidades para controle das águas naturais, pluviais e de rejeitos, a consequência dessa precariedade foi o desencadeamento de epidemias que assolaram as cidades europeias. Pelos avanços científicos foi possível associar as águas servidas e pluviais a transmissão de diversas doenças, esses aspectos sanitários foram associados a princípios positivistas para a preconização de sistemas que buscavam a evacuação rápida das águas pluviais e residuais, desta forma foi fundamentada a visão sanitaria para as águas geradas pelas chuvas (Baptista *et al.*, 2005).

Tucci (2008) separou as formas de se pensar a hidrologia urbana em quatro fases diferentes, seus períodos e consequências. A primeira fase corresponde a fase pré-higienista, a qual predominou até o início do século XX, a qual direcionava as águas residuais e pluviais de forma conjunta e essas eram lançadas em corpos d'água que muitas vezes serviam como forma de abastecimento, como consequências de tais práticas eram comuns epidemias, grande grau de mortalidade e inundações. Na fase higienista ou sanitaria, predominante até os anos 70, a ideia era de transportar para longe as águas pluviais com canalização do escoamento superficial, o que ocasionava redução de doenças, contudo com essa prática os rios ficavam contaminados e isso impactava as águas de abastecimento, além de aumentar as inundações. Na fase corretiva, entre os anos 70 e 90, buscou-se o amortecimento do escoamento, como consequência a poluição se reduziu à poluição difusa e os problemas a impactos ambientais. Por fim após os anos 90 se intentou o desenvolvimento sustentável, a ideia é de buscar a proximidade ao sistema

natural, a pré-urbanização, com redução das inundações, e aumento da qualidade ambiental e de vida.

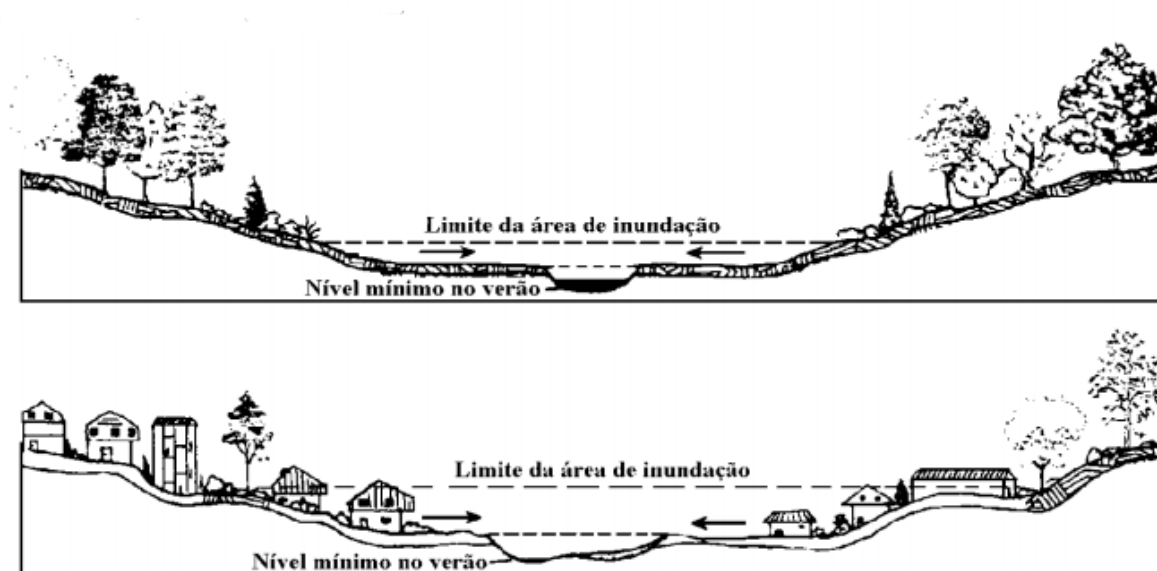
No Brasil, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2010), 84% da população está concentrada em áreas urbanas. O forte adensamento populacional e os problemas de drenagem urbana ganham evidência no período chuvoso, com seus efeitos potencializados. No começo do século XX o conceito higienista vindo da Europa ainda prevalecia, as águas de chuvas e esgoto sanitários deveriam ser afastadas, diminuindo assim a possibilidade de contaminação, sob esse conceito foram elaborados os canais e galerias de drenagem, as obras foram a solução encontrada pelos governantes municipais da segunda metade do século XX, pois estas apresentavam uma repercussão política significativa, atendendo aos anseios de desenvolvimento da cidade, principalmente a expansão viária e ocupação de áreas que eram inaproveitáveis. Contudo a partir dos anos 70 substituiu-se o conceito de drenagem urbana pelo conceito de hidrologia urbana, onde se livrar da água para jusante deixou de ser a única preocupação, com a conscientização da integração entre meio ambiente e espaço urbano passou a ser sentida após graves problemas causados pela expansão urbana desordenada, em que as obras de saneamento eram realizadas somente após a consolidação dos riscos à saúde humana ou a bens materiais (ReCESA, 2007; Righetto, 2009).

O crescimento urbano desordenado nas cidades brasileiras tem causado vários impactos sobre a população e o meio ambiente. Esses impactos podem se verificar de diversas formas, entre elas as inundações, e a degradação à qualidade das águas pluviais. Esses problemas são consequência de como se dá o desenvolvimento das cidades: falta de planejamento, pouco controle sobre o uso do solo, ocupação de áreas de risco e sistemas de drenagem inadequados (Concremat, 2009). Quanto a drenagem urbana, duas práticas tendem a agravar as consequências desses problemas:

1. Os projetos de drenagem sanitários, que aumentam enormemente a vazão de pico, a frequência e o nível de inundações a jusante.
2. A ocupação do leito maior do rio que, em momentos de cheia, tendem a ser inundados causando prejuízos e grandes riscos a estas populações ribeirinhas.

A segunda prática tem origem social visto que o contingente populacional que se encontra abaixo do limite tolerável de pobreza é alto e o déficit habitacional, uma das principais fragilidades, contribui para o índice baixo de desenvolvimento do País. A

ocupação de áreas de risco pela população de baixa renda é um problema, pois muitas áreas inundáveis urbanas são rapidamente ocupadas por essa parte da sociedade, como mostra a figura 3.3, que fica sujeita aos eventos trágicos de deslizamentos de encostas, enchentes, soterramentos e inundações, quando essas áreas ocupadas fazem parte de calhas secundárias de curso d'água, áreas de inundação, e até margens de córregos que drenam grandes bacias de drenagem (Concremat, 2009).



*Figura 3.3 - Ocupação Urbana de Áreas de Inundação*  
*Fonte: Concremat, 2009.*

Com o aparecimento desses problemas, as técnicas compensatórias foram criadas com o intuito de diminuir os picos de cheia, e em outra frente, a legislação e planos diretores procuram ordenar o crescimento que aumentam a recorrência de enchentes (ReCESA, 2007).



### **3.4 MEDIDAS DE CONTROLE DE INUNDAÇÕES**

As medidas de controle são formas para evitar as consequências negativas que uma precipitação pode ter sobre o meio urbano. Essas medidas podem ser classificadas quanto ao seu local de atuação e capacidade em medidas na fonte, microdrenagem e macrodrenagem. Outra forma de dividi-las é quanto sua frente de atuação em estruturais e não estruturais.

Os sistemas de drenagem podem ser divididos quanto ao seu local de aplicação em drenagem na fonte, microdrenagem e macrodrenagem. A drenagem na fonte é aquela que coleta o escoamento que ocorre no lote, ou empreendimento individualizado, como estacionamentos, parques e passeios. A microdrenagem é definida pelo sistema de condutos ou canais que atua a nível de loteamento ou de rede primária urbana. A macrodrenagem são os sistemas coletores de diferentes sistemas de microdrenagem. (Tucci, 2003).

#### **3.4.1 Medidas Estruturais e Não Estruturais**

Medidas estruturais estão relacionadas às obras de captação, armazenamento e transporte das águas pluviais e são executadas dentro dos limites determinados pela quantificação dos riscos e pelo conhecimento das ondas de cheia, ajustadas às condições locais por meio de estruturas de contenção. Os sistemas estruturais são compostos por diversas estruturas, que tem por objetivo deter e/ou transportar o escoamento superficial e também propiciar a infiltração localizada. Essas obras buscam reduzir os impactos da urbanização no hidrograma resultante, como as bacias de retenção que são capazes de reter o deflúvio amortecendo a vazão máxima e reduzindo impactos a jusante e regulando o volume. Em alguns países estas estruturas são dotadas de sistemas de tratamento da água escoada, removendo os poluentes encontrados ao longo do escoamento. Esses dispositivos de tratamento podem se encontrar na entrada do sistema de drenagem ou no lançamento no corpo receptor (Righetto, 2009).

As medidas não estruturais são medidas que buscam a conscientização popular, legislação apropriada, fiscalização do uso e ocupação do solo, manutenção regular dos elementos estruturais, entre outros. De forma geral são ações que integram a gestão de

águas pluviais nas sub-bacias que compõem o território urbano, não somente o problema específico das enchentes, mas sim o uso racional do território urbano (Righetto, 2009).

Quando os planos urbanísticos são pensados de forma fragmentada as falhas ganham muito mais destaque do que quando esses são pensados de forma conjunta, onde um minimiza a falha do outro. Em alguns casos a drenagem urbana tem sido percebida e tratada, ao menos em parte, como um subsistema de todo o sistema de gestão de água urbana. A vantagem dessa visão geral é que a drenagem urbana pode ser inter-relacionada com diversas outras gestões da água como águas subterrâneas, fornecimento de água, tratamento de águas residuais, controle de encostas, paisagístico e recreativo, entre outros.

O Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDU) é fundamental para a gestão das águas pluviais urbanas. Esse tem como objetivo o planejamento da distribuição dos deflúvios superficiais no espaço urbano em função da ocupação e da infraestrutura de drenagem, para se diminuir ou mesmo eliminar os prejuízos econômicos e ambientais causados pela falha desse sistema. O desenvolvimento desse é realizado segundo duas estratégias básicas: estabelecer uma legislação, regulamentação e medidas não estruturais para o espaço urbano ocupado ou não, bem como um plano de controle de impactos na drenagem das áreas ocupadas (Tucci; Orsini, 2005 *apud* Righetto, 2009). Junto ao plano, deve-se desenvolver um manual para orientar urbanistas e projetistas quanto à ocupação e uso do espaço urbano e às medidas estruturais e não estruturais necessárias sintonizar o desenvolvimento com o sistema de drenagem da bacia urbana (Righetto, 2009).

Decina e Brandão (2016) fizeram uma análise do desempenho de medidas estruturais e não estruturais para a bacia do córrego Gregório, a leste da cidade de São Carlos analisando sete cenários, no modelo hidrológico PCSWMM, combinando ou não medidas estruturais e não estruturais. Dentre os cenários simulados o que apresentou melhores resultados, com a maior redução do pico de vazão, foi o que combinou medidas estruturais e não estruturais, o que mostra a importância da combinação de medidas de diferentes naturezas.

### **3.4.2 Medidas na fonte, micro e macrodrenagem**

Nos últimos anos, devido a necessidade de se combater os problemas de água pluvial urbana, tem-se buscado o manejo sustentável da água de drenagem, com isso surgiram as técnicas compensatórias de controle na fonte. Esses sistemas buscam

enfrentar o problema dos deflúvios urbanos diretamente no local de geração dos mesmos, e envolvem medidas estruturais e não estruturais. A drenagem na fonte é aquela realizada em uma unidade específica, casa, condomínio, empreendimento individualizado, estacionamentos, entre outros. As vazões de cheia produzidas na bacia ou no espaço urbano podem ser bastante alteradas em função do manejo eficiente do controle dos deflúvios em suas fontes geradoras e de pequenas estruturas de controles em pontos específicos da bacia, como vias públicas e fundos de vale. Esse controle na fonte pode ser feito em lotes e condomínios habitacionais por meio de um paisagismo que integre áreas permeáveis e impermeáveis (ASCE, 1992).

As microdrenagens são criadas para suportar o escoamento de precipitações de risco moderado. Quando a capacidade do sistema de microdrenagem é excedido, ruas e outros sistemas de drenagem (macrodrenagem) ficam encarregados do fluxo excedente. Isto não constitui uma falha do sistema de drenagem, visto que esses são projetados para pequenos e, portanto, mais frequentes eventos de precipitação, então quanto maior o tempo que esses permanecem em sistemas na fonte, mais curtos e baratos os encanamentos de macrodrenagem serão. Alguns exemplos de componentes hidráulicos eficientes para a redução do volume de deflúvio são cisternas e microrreservatórios de infiltração, a ampliação da implementação desses pode ser incentivada por meio de incentivos fiscais por parte do poder público, reduzindo assim a contribuição de deflúvio e, conseqüentemente, a atenuação das cheias no sistema de macrodrenagem (ASCE, 1992).

A macrodrenagem é determinada como o sistema coletor das microdrenagens. Esta deve ter sua capacidade projetada para grandes vazões para proteger de riscos humanos ou materiais potenciais. Quanto a macrodrenagem, esse é concebido para precipitações menos frequentes, o design deve determinar, de forma geral, os caminhos do fluxo e relacionar as profundidade e velocidades dentro do sistema de macrodrenagem. O objetivo é de manter a água fora de edificações, e assegurar que a profundidade e velocidade do escoamento não representará risco para a população (ASCE, 1992).

O design deve combinar porções de macrodrenagem, microdrenagem e drenagem na fonte em um único sistema (ver figura 3.4). Uma série de caminhos de fluxo, naturais ou antrópicos, podem transmitir o escoamento sem causar danos. O resultado deve ser um

sistema global, que custe menos, paisagisticamente agradável e livre de danos, exceto em eventos catastróficos.

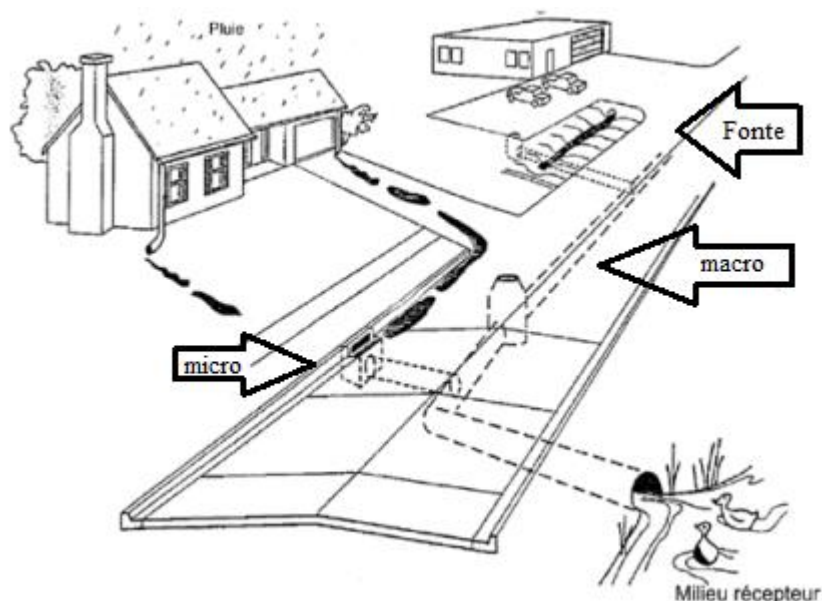


Figura 3.4 - Drenagem na Fonte, Micro e Macrodrenagem  
Fonte: MDDEFP et MAMROT, 2014.

### 3.5 SISTEMAS CONVENCIONAIS E TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS

A drenagem urbana pensada como sistema convencional, tradicional ou higienista, indica que as precipitações ocorridas nas vias e espaços públicos devem ser coletadas por bocas de lobo, sarjetas e outros dispositivos de microdrenagem e serem direcionadas, de forma conjunta com águas de áreas privadas que alcançam tais vias e espaços, para tubulações de macrodrenagem, as quais conduzirão toda a água coletada e lançá-la em um certo ponto de menor altitude onde exista, ou não, um corpo d'água. A água é lançada à medida que chega, sem qualquer forma de controle de vazão ou qualidade da mesma (Balabram, 2007).

Ward (1852) *apud* Baptista (2009), fez um paralelo entre o sistema de águas urbanas e a circulação sanguínea humana, segundo ele o sistema arterial é como o abastecimento de água, que alimenta todo o “corpo” urbano, já o sistema venoso é comparado ao sistema de evacuação das águas pluviais e residuais, onde qualquer “estagnação pestilencial” destas águas podiam ser nocivas à “saúde urbana”.

Na segunda metade do século XX esses sistemas começaram a colapsar, a urbanização intensa provocou reflexos sobre os processos hidrológicos de tal forma que

os limites do manejo higienista foram explicitados, pois estas soluções intensificam tais reflexos. Os principais defeitos desses sistemas estão relacionados a pouca flexibilidade e capacidade de adaptação as mudanças de uso do solo, que são uma constante em processos de urbanização, por isso esses sistemas caem logo na obsolescência e se tornam dispendiosos por requerer atualizações em espaços já consolidados. Além disso, estas intervenções em locais já construídos tendem ao emprego de soluções locais e parciais, pois são feitas a partir de um diagnóstico apressado e simplista (Righetto, 2009).

Revelados os defeitos dos sistemas convencionais, há ainda a necessidade de se explicitar os problemas causados por tal sistema, visto que esses podem acarretar em sérios problemas no meio urbano.

Um dos problemas pode ser percebido somente a jusante, que são as inundações causadas pela retirada rápida dos deflúvios causados pelas chuvas, acumulando vazões e transferindo o problema. Estas inundações tendem a ocorrer em áreas mais antigas, devido aos menores dimensionamentos de tais, isso demanda intervenções as quais já foram citadas anteriormente (Baptista *et al.*, 2005).

Já a canalização de rios gera a “falsa ideia” na população de que está livre dos problemas de inundações e logo estas passam a ocupar áreas ribeirinhas. Pode-se associar esta ocupação a dois fatores, a falta de um plano diretor que zoneie áreas com risco de inundação e o outro fator é a aceitação ou necessidade de populações de baixa renda de ocupar áreas de grande vulnerabilidade. As inundações podem ocorrer como consequência da urbanização ou mesmo por um fenômeno natural de cheia, e estas podem trazer grandes prejuízos materiais além de resultar em perdas de vidas (Baptista *et al.*, 2005).

Por fim, mas não menos importante, há o problema da poluição difusa que altera a qualidade da água. Há a lavagem de áreas impermeáveis, canteiros de obras, resíduos sólidos ocasionados pela precipitação, essa lavagem aporta uma grande quantidade de poluentes para o corpo receptor (Silva, 2009).

No conceito atual o manejo das águas pluviais urbanas, o controle e a minimização dos efeitos das enchentes urbanas não se limitam ao princípio higienista, mas buscam a agregação de medidas estruturais e não estruturais, envolvendo obras de macro e micro drenagem, além do controle na fonte e gestão de ocupação do espaço urbano, por meio de legislação e fiscalização voltadas ao uso e ocupação do solo (Righetto, 2009).

As medidas alternativas buscam minimizar os impactos da urbanização, priorizando o planejamento da microbacia como um todo, dessa forma se evita a transferência de impactos para a jusante, as estruturas utilizadas visam o armazenamento da água com dispositivos e/ou áreas para armazenamento da água. Algumas ainda perpetuam o problema da poluição difusa, mas muitas dessas estruturas buscam a retenção dessa carga poluidora para não transferir a poluição das vias para os corpos receptores (Scherer *et al.*, 2012).

Segundo Ellis, citado por Righetto (2009), há uma grande variedade de técnicas compensatórias, muitas delas buscam o armazenamento e infiltração das águas de chuva, entretanto há outras que buscam a interceptação e a evapotranspiração, como os telhados e coberturas verdes, além de áreas verdes, que buscam a redução dos escoamentos pluviais. Além disso, essa multiplicidade de estruturas permite a utilização destas tecnologias em diferentes escalas, desde pequenas parcelas até grandes áreas. Outra vantagem desses sistemas é sua inserção urbanística, isso permite usos múltiplos destas áreas, por exemplo, áreas de amortecimento de cheias podem ser utilizadas como áreas verdes, parques, espaços destinados à prática de esportes e estacionamentos, entre outros.

As técnicas compensatórias podem ser divididas em estruturais e não estruturais, como já foi dito. As não estruturais, além do cunho administrativo, podem se referir aos procedimentos adotados em algumas situações, como a escolha de pavimentos rugosos, a não conexão de áreas impermeáveis diretamente aos sistemas de drenagem, entre outros. Já as técnicas estruturais podem ser classificadas de diversas formas, o princípio básico de funcionamento das técnicas, podendo ser de infiltração ou retenção, as quais podem ser combinadas (Baptista *et al.*, 2005).

Outra divisão é quanto ao local de implantação do dispositivo, as técnicas realizadas próximas ao local de geração são as já citadas medidas de controle na fonte. Devido a sua aplicação a pequenas áreas de drenagem estas permitem a utilização de dispositivos de menor escala como poços de infiltração, valas e valetas de armazenamento, e microrreservatórios individuais (Baptista *et al.*, 2005).

As valas, valetas e poços de infiltração são constituídos de depressões escavadas no solo, as quais objetivam recolher as águas pluviais as armazenando de forma temporária e, se possível, realizando sua infiltração. Estas são empregadas principalmente

ao lado de sistemas viários de zonas rurais, jardins, terrenos esportivos e áreas verdes (Baptista *et al.*, 2005).



Figura 3.5a - Trincheira de Infiltração¹



Figura 3.5b - Trincheira de Infiltração²

Ainda no âmbito do controle na fonte tem-se as técnicas lineares aplicadas junto aos elementos do sistema viário, como os estacionamentos, pátios e ruas, os quais tem um grande potencial de drenagem. Há uma tendência de aplicação de pavimentos porosos nestas áreas como valas de detenção/infiltração, trincheiras de infiltração e etc (Baptista *et al.*, 2005).

Os pavimentos porosos podem ser aplicados para se alcançar três níveis diferentes de atuação: os pavimentos de superfícies permeáveis, que causam a retenção temporária de pequenos volumes no próprio pavimento e a infiltração de parte desse; os pavimentos porosos, os quais efetuam o amortecimento das vazões e altera o hidrograma quanto ao seu desenvolvimento temporal; Ainda há aqueles pavimentos que são permeáveis e facilitam a infiltração, logo esses acumulam as vantagens do anterior e ainda permitem a redução dos volumes escoados (Baptista *et al.*, 2005).

---

¹Fonte: <http://www.sudswales.com/wp-content/uploads/2011/06/infiltration-trench.jpg>

²Fonte: [http://www.saveitlancaster.com/wp-content/uploads/2011/12/100\\_3167.jpg](http://www.saveitlancaster.com/wp-content/uploads/2011/12/100_3167.jpg)



Figura 3.6a - Pavimento Permeável<sup>3</sup>



Figura 3.6b - Pavimento Permeável<sup>4</sup>

Por fim a classificação quanto ao local possui as técnicas de controle centralizado, estas técnicas se resumem às bacias de detenção e as bacias de retenção, as quais estão ligadas a áreas de drenagem de grande porte (Baptista *et al.*, 2005).

As bacias de detenção são estruturas para acumulação temporária que contribuem para a redução das inundações urbanas, onde pode ou não ocorrer infiltração das águas pluviais. Sua principal função é o amortecimento das ondas de cheias geradas no meio urbano, a redução do volume de escoamento superficial, e também pode proporcionar a captação de sedimentos e detritos, melhorando a qualidade dos corpos d'água (Mota, 2012).

As bacias de detenção são indicadas para bacias hidrográficas altamente urbanizadas, nas quais os eventos chuvosos propiciam um volume importante de escoamento superficial (New Jersey, 2016).



Figura 3.7a - Bacia de Detenção  
Fonte: Mota *et al.*, 2012.



Figura 3.7b - Bacia de Detenção  
Fonte: Mota *et al.*, 2012.

<sup>3</sup>Fonte: [http://www.vtn.com.br/artefatos-de-concreto/imagem/pisograma\\_a\\_4.jpg](http://www.vtn.com.br/artefatos-de-concreto/imagem/pisograma_a_4.jpg)

<sup>4</sup>Fonte: [http://www.casafozdesign.com.br/wp-content/uploads/2013/10/IMG\\_6618-final-624x412.jpg](http://www.casafozdesign.com.br/wp-content/uploads/2013/10/IMG_6618-final-624x412.jpg)



Segundo Mota (2012) as bacias de retenção podem ser subterrâneas, quando se estiverem em uma bacia hidrográfica onde não existam áreas para implementação dessas a céu aberto, ou abertas, quando há espaço disponível, as abertas permitem multiuso como implementação de áreas de lazer. Geralmente as bacias de retenção são secas e seu tempo de retenção é de no máximo 24 horas, para que possam receber outros eventos chuvosos.

As bacias de retenção por sua vez são estruturas que buscam reduzir a concentração de contaminantes nas águas escoadas superficialmente em centros urbanos, contudo também podem reduzir o pico de vazão do escoamento, controlar erosões, atuar no paisagismo e recarregar aquíferos. Essas podem ter ou não um volume permanente de água, as que são permanentes permitem uma maior deposição de contaminantes e um tratamento biológico entre os eventos de precipitação, devido ao maior tempo de retenção, entretanto essas podem armazenar um volume menor. (Lima *et al.*, 2006).



Figura 3.8a - Bacia de Retenção<sup>5</sup>



Figura 3.8b - Bacia de Retenção<sup>6</sup>

As bacias de retenção começaram a ser adotadas no Brasil no meio do século XX e se popularizaram em meados dos anos 90, contudo sem a sua integração com os elementos urbanísticos, sendo utilizadas somente para fins de amortecimento de cheia. Aos poucos a integração vem sendo realizada (Baptista *et al.*, 2005).

O manejo da água pluvial no meio urbano deve ser capaz de proporcionar qualidade de vida a população, reduzindo os riscos oriundos a impermeabilização causada

---

<sup>5</sup>Fonte:<http://www.kenmarkturf.com/wp-content/uploads/2011/03/Ken-Mark-Turf-Detention-Pond-Demucking.jpg>

<sup>6</sup>Fonte:[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/22/Boneyard\\_Detention\\_Basin\\_2006.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/22/Boneyard_Detention_Basin_2006.jpg)

pelo processo de urbanização e consequentemente promovendo o bem-estar (Righetto, 2009).

### **3.6 OCUPAÇÕES ESPONTÂNEAS**

As ocupações espontâneas podem ser causadas por um avanço no crescimento demográfico desordenado e resultam na ocupação de áreas sem qualquer infraestrutura, o que pode causar danos à saúde dos moradores do local e dos ecossistemas invadidos, e por consequência uma piora da qualidade de vida (Machado, 2007; Cunha *et al.*, 2010).

Os projetos de infraestrutura devem ser pensados de forma conjunta, logo o desenvolvimento de drenagem urbana de uma certa área deve levar em conta os fatores urbanísticos da mesma, isso significa levar em conta também os elementos que foram implantados ali sem alguma forma de planejamento. Alguns fatores como disponibilidade de espaço, inclinação dos telhados e as redes de diferentes serviços existentes podem ser limitantes urbanísticos (Baptista *et al.*, 2005).

Segundo Durrans (2007) a maioria das cidades de países “em desenvolvimento” tem um crescimento rápido e sem um planejamento coerente, isso causa uma lacuna, quanto ao planejamento do uso e ocupação do solo, que associada a falta de recursos financeiros suficientes para investir nos sistemas relacionados às águas pluviais, o que faz com que o desenvolvimento de sistemas de drenagem eficientes sejam um desafio. Para superar tal dificuldade deve-se associar elementos técnicos e medidas de gestão de uma forma adaptada para as condições e necessidades destes, obedecendo as exigências determinadas pelas agências reguladoras, estas exigências estão associadas a qualidade e quantidade da água gerada pela chuva.

A Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal - ADASA é a responsável pela regulamentação no âmbito do uso da água. Esta determina quais os valores de vazão máxima, velocidade da água e qualidade da mesma em escoamentos superficiais. A Agência limita a 24,4 l/(s×ha), pois esta é considerada a vazão antes do processo de urbanização.

Além das normas relacionadas a drenagem determinadas pelas agências reguladoras deve-se levar em conta fatores como nível de urbanização, clima local e topografia, entre outros. (Durrans, 2007)

A aceitação pública das técnicas implantadas também se faz importante e ela depende de alguns aspectos como o conhecimento do funcionamento dos elementos de drenagem, a integração desses ao paisagismo e elementos urbanísticos e informações sobre o risco associado a estes como o risco sanitário ou de afogamento (Righetto, 2009).

Nos países “em desenvolvimento” essa falta de sintonia entre as técnicas compensatórias e a população pode gerar alguns problemas, pois alguns elementos passam a ser utilizados como depósitos de lixo em épocas de seca e isso resulta em consequências, como, nos eventos de chuva em que há grande possibilidade do sistema entupir, o que resulta em inundações e na tomada de locais de topografia baixa pelas águas pluviais. Outro aspecto é a associação de lixo ao escoamento superficial, isso resulta em poluição dos corpos receptores. Há ainda um outro fator que está associado à não conscientização da população, o lançamento de águas residuais não tratadas no sistema de drenagem (Durrans, 2007).

### **3.7 MODELAGEM MATEMÁTICA**

#### **3.7.1 Modelagem Hidrológica**

Segundo Freitas (2012) o modelo hidrológico é uma representação matemática do comportamento físico da água e seus constituintes em uma determinada superfície ou subsuperfície (solo ou condutos). De forma geral, os modelos hidrológicos descrevem a distribuição espacial da precipitação, as perdas por evapotranspiração, o movimento das águas por infiltração, percolação e escoamentos subsuperficial e superficial, além dos canais de escoamento.

A modelagem é um dos instrumentos que podem ajudar na gestão de uma bacia hidrográfica ou de um espaço urbano, a boa distribuição espacial e temporal das informações é crucial para uma boa modelagem. Com uma boa aproximação feita pelo software de modelagem, esse se torna uma ótima forma de avaliação da gestão de águas pluviais e das interferências da modificação do espaço sobre elas (Smith *et al.*, 2005).

### 3.7.2 O Modelo SWMM

O Storm Water Management Model (SWMM) foi desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental americana (EPA), e é um modelo dinâmico de chuva-vazão utilizado para um só evento chuvoso ou a simulação de longos períodos que permite a avaliação qualitativa e/ou quantitativa de áreas predominantemente urbanas. O modelo é costumeiramente utilizado para planejar, analisar e elaborar sistemas de drenagem em áreas urbanas (Rossman, 2009). A primeira versão do SWMM foi desenvolvida no início da década de 70, após isso o modelo vem recebendo diversas atualizações, entre as quais se criou a integração entre essa ferramenta e os ambientes SIG e CAD, além de outras para apresentação dos resultados e melhoria da capacidade do banco de dados. Uma das versões adaptadas mais utilizadas é o PCSWMM (Righetto, 2009), pois ele facilita ao cenário tanto a entrada de dados quanto a visualização dos resultados, nesse trabalho será utilizado o modelo PCSWMM.

O SWMM considera diferentes fontes de produção de escoamento existentes em áreas urbanas, tais como precipitações variáveis no tempo, fluxo de reservatórios não lineares, além de considerar a retenção e detenção de escoamentos em diversos dispositivos de baixo impacto (advindos das técnicas compensatórias). O programa permite determinar as condições de simulação ao qual ele será submetido, sendo possível escolher o modo de processamento, o tipo de infiltração, a forma de propagação de fluxo, o tempo de simulação, entre outros.

O escoamento superficial no SWMM é conceituado considerando cada sub-bacia como um reservatório não linear, as contribuições que chegam a ela sejam por eventos de precipitação ou contribuição de outras bacias sofreram com diversos fluxos de saída como, infiltração, evaporação, armazenamento e, quando ocorre o “extravasamento” da sub-bacia, acontece o escoamento superficial. A figura 3.9 ilustra bem o funcionamento do escoamento superficial no modelo.

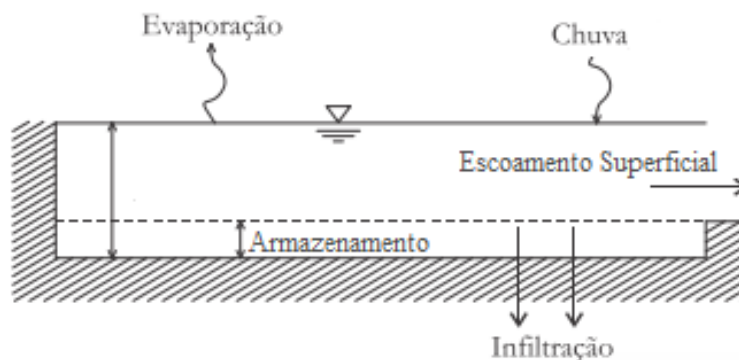


Figura 3.9 - Sub-bacia do SWMM. Fonte: Rossman, 2009.

Um dos fenômenos também ilustrados na figura 3.9 é a infiltração, essa pode se dar seguindo três métodos dentro do SWMM, a equação de Horton, o método de Green-Ampt, além do método SCS que considera a curva número da sub-bacia para avaliar a capacidade de infiltração da mesma.

Por fim há também três formas de se modelar o transporte hidráulico ou o fluxo de uma sub-bacia, seguindo as equações de conservação de massa e de quantidade de movimento para fluxo não permanente, que é regido pelas equações de Saint-Venant, as três modelagens são: o fluxo em regime uniforme, onda cinemática e onda dinâmica, essa última gera resultados mais precisos, teoricamente, por resolver de forma completa as equações de Saint-Venant.

Uma vez compreendidas as formas de modelagem existentes no SWMM, é possível trabalhar com as outras versões dele, mais especificamente o PCSWMM. Desenvolvido pela Chiwater é uma ótima ferramenta para a gestão das águas pluviais de uma área urbana e tem sido aplicado para tal função em diversos estudos.

Joksimovic e Alam (2014) utilizaram o PCSWMM para verificar o custo-benefício das técnicas compensatórias em uma bacia na cidade de London, Canadá. Chegaram à conclusão que, para aquela situação, as trincheiras de infiltração tinham o maior custo benefício.

Já Lucas e Sample (2016) adotaram o PCSWMM para avaliar diferentes técnicas compensatórias para a bacia de Shockoe Creek, na Virgínia. Os resultados apontaram para dispositivos que controlavam a vazão como os mais eficientes.

## 4 METODOLOGIA

Esse capítulo faz uma breve caracterização da área de estudo, uma descrição de como foi realizada a modelagem matemática, define os cenários simulados e mostra como foram calculados os volumes dos reservatórios de qualidade e quantidade.

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Foi feito um levantamento dos dados da região, bem como do projeto de drenagem urbana a ser implementado no Setor Habitacional Arniqueira. Os dados apresentados neste tópico foram obtidos e/ou adaptados do estudo de regularização da área, que é composto por um estudo de impacto ambiental e um relatório de impacto ambiental, entre outros, realizado pela Topocart e Terracap.

#### 4.1.1 Histórico do Setor Habitacional Arniqueira

A área a qual atualmente é o SHAr faz parte de um conjunto de colônias agrícolas que surgiram na década de 60, as quais tinham o objetivo de fornecer alimentos para a população do Distrito Federal. Entretanto, a ocupação tornou-se regular somente em 1986, quando o Governo do Distrito Federal, por meio do projeto de criação de Águas Claras, regularizou em conjunto as seguintes áreas: Governador, que parte hoje é a cidade

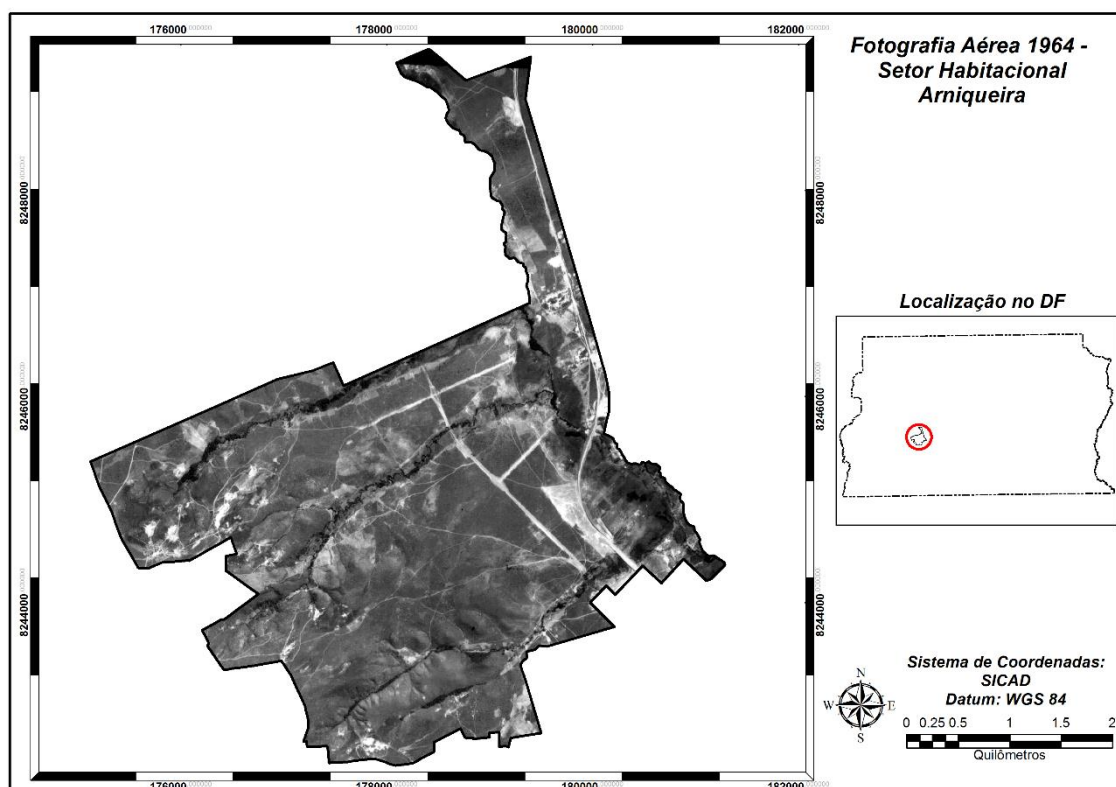


Figura 4.1 - Fotografia Aérea (1964). Fonte: SEDHAB.

de Águas Claras; Águas Claras, o fundo do Guará; Arniqueira; Vereda da Cruz; Vereda Grande ou Veredão; e Bernardo Sayão, atrás do Núcleo Bandeirante e a Vicente Pires.

Uma vez regularizadas as colônias agrícolas não mantiveram sua composição inicial e as chácaras foram parceladas. O processo de transformação da área, desde a origem da ocupação por meio da exploração agropecuária aos parcelamentos das chácaras, ocorreu de forma rápida e se deu, em grande parte, por conta de problemas enfrentados pelos agricultores e pela pressão imobiliária ocorrida a partir da década de 80.

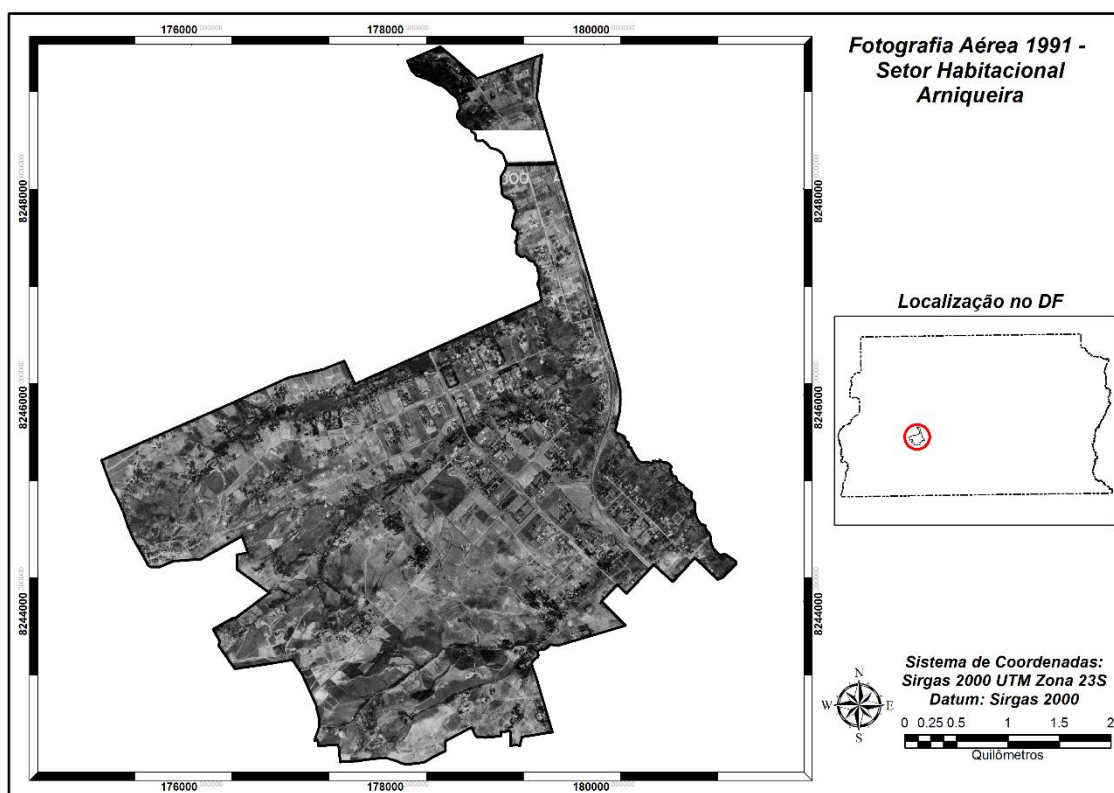


Figura 4.2 - Fotografia Aérea (1991). Fonte: SEDHAB.

O desmembramento das Colônias Agrícolas Vereda da Cruz, Arniqueira e Vereda Grande (Veredão) ocorreu em 2000, quando houve o anúncio da construção do bairro Águas Claras e logo houve também o parcelamento de quase todas as chácaras daquela área. A região criação de Águas Claras em 2003 foi uma forma de financiar a criação da linha metroviária, que corta a cidade atualmente, com uma proposta “racional” de ocupação do solo e expansão ordenada de Brasília. A área da RA XX abrange um total de 31,50 Km<sup>2</sup> e é composta por Águas Claras, Areal e Setor Habitacional Arniqueira, que compreende as subregiões Arniqueira, Veredas da Cruz, Setor Veredas e Veredão.



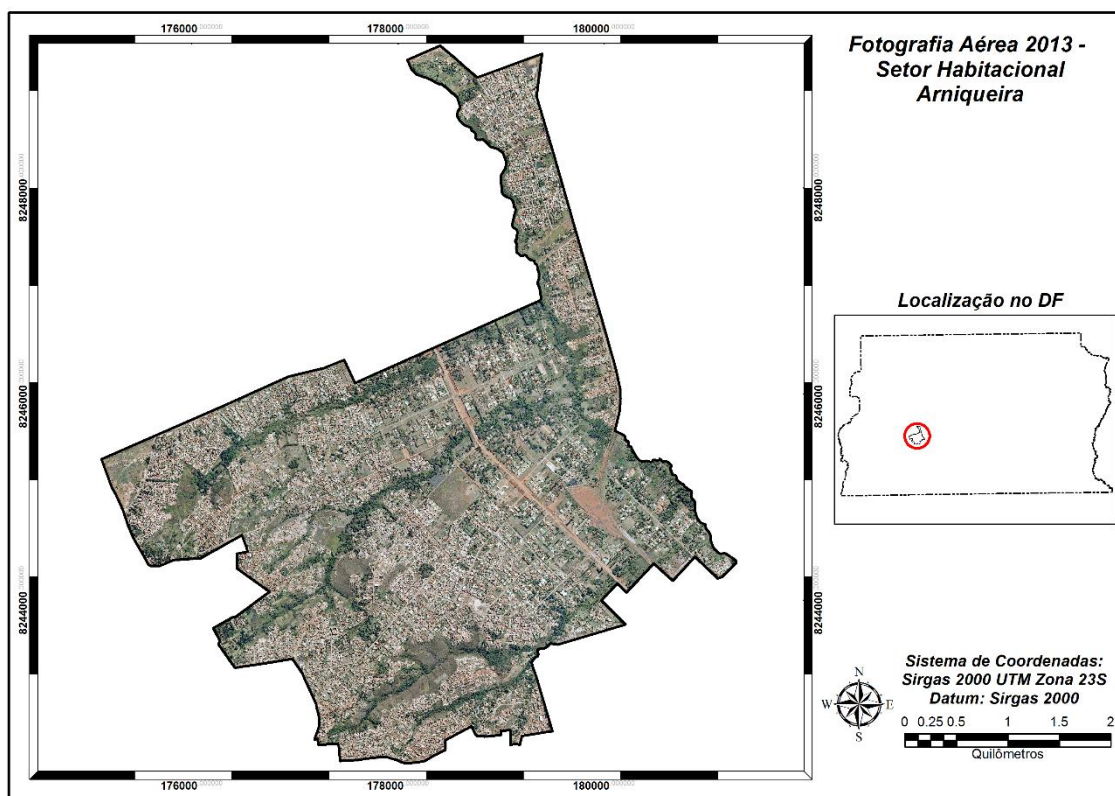


Figura 4.3 - Fotografia Aérea (2013). Fonte: SEDHAB.

#### 4.1.2 Composição Socioeconômica e Urbanística

O SHAr ocupa uma área de 11,89 km<sup>2</sup>, de acordo com o Plano Diretor de Ordenamento Territorial (PDOT, 2009). Mesmo com a Lei 3.153 definindo o SHAr como parte da cidade de Águas Claras, os seus limites o coloca como parte integrante de quatro regiões administrativas: Taguatinga, Águas Claras, Park Way e Riacho Fundo 1. Esse setor teve seu estudo de regularização realizado juntamente com o Setor Habitacional Bernardo Sayão e áreas irregulares remanescentes no Setor Park Way trecho 3, pois esses formam uma área poligonal muito próxima o que facilitou o estudo, essa poligonal é delimitada pela EPTG (DF-085) e a cidade de Águas Claras ao norte, a EPNB (DF-075) ao sul, a cidade do Guará 2 a leste e o pistão sul de Taguatinga (BR-251) a oeste. Como mostra a figura 4.4. A região de estudo possui um ótimo acesso viário por estar localizada entre vias de grande porte e importantes para o Distrito Federal.



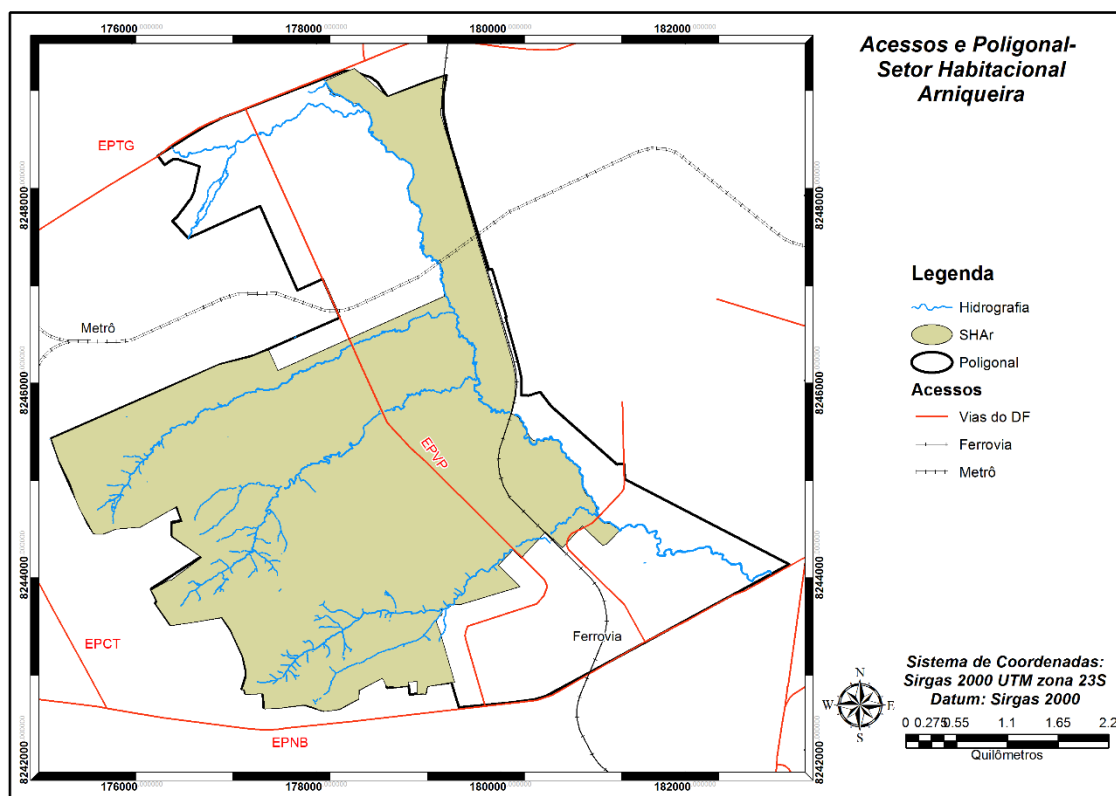


Figura 4.4 - Acessos e Poligonal de Estudo

Quanto à demografia do SHAr e Bernardo Sayão - SHBS e áreas da SMPW Trecho 3, foi realizada uma pesquisa de campo pela Topocart (2014), onde foi contabilizada uma população de cerca de 42.209 pessoas. Realizando uma razão simples pelo número de casas se chega ao número de 3,9 pessoas por residência.

Também foi possível se determinar as faixas com uma maior representatividade econômica: 26,23% da população declarou receber de 1,1 a 3 salários mínimos e 24,59% indica receber acima de 7 salários mínimos. Pode-se verificar esta distância social pelo padrão das habitações. No Park Way é possível perceber casas de alto padrão, além dos arruamentos largos e passeios, enquanto isso as zonas mais carentes como Areal, Arniqueira e Bernardo Sayão possuem casas inacabadas, além de arruamentos mais estreitos. É possível ainda se encontrar diversos bolsões de pobreza. Essas diferenças sociais causam uma grande diferença na ocupação do solo enquanto em algumas áreas se tem pequenos terrenos próximos da completa impermeabilização, em outras tem-se áreas com grandes jardins, piscinas e até mesmo campos de futebol ou quadras de tênis.

### 4.1.3 Fatores Ambientais

Para se determinar as áreas de influência direta (AID) ambientais levou-se em consideração os impactos causados por aspectos urbanísticos, obras de infraestruturas básicas e reestruturações socioeconômicas necessárias para regularização das ocupações inseridas nos Setores Habitacionais Arniqueira - SHAr e Bernardo Sayão - SHBS, assim como irregulares nas áreas remanescentes do Setor de Mansões Park Way - SMPW - Trecho 3. As áreas de drenagem dos córregos Arniqueira, Vereda da Cruz, Vereda Grande, e trechos do córrego Águas Claras e do córrego Vicente Pires, afluente do ribeirão Riacho Fundo também foram definidas como AID.

Considera-se como áreas de influência indireta (AII) as unidades hidrográficas do Riacho Fundo e Lago Paranoá, pertencentes à Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá e unidades hidrográficas do Melchior e Lago Descoberto pertencentes a Bacia Hidrográfica do Rio Descoberto, pois estas sofrem impactos ambientais devido aos sistemas ligados ao uso da água.

#### 4.1.3.1 Bacia Hidrográfica e Hidrografia do SHAr

A AID do setor Arniqueira pertence totalmente à Unidade Hidrográfica do Riacho Fundo que, por sua vez, pertence a Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá.

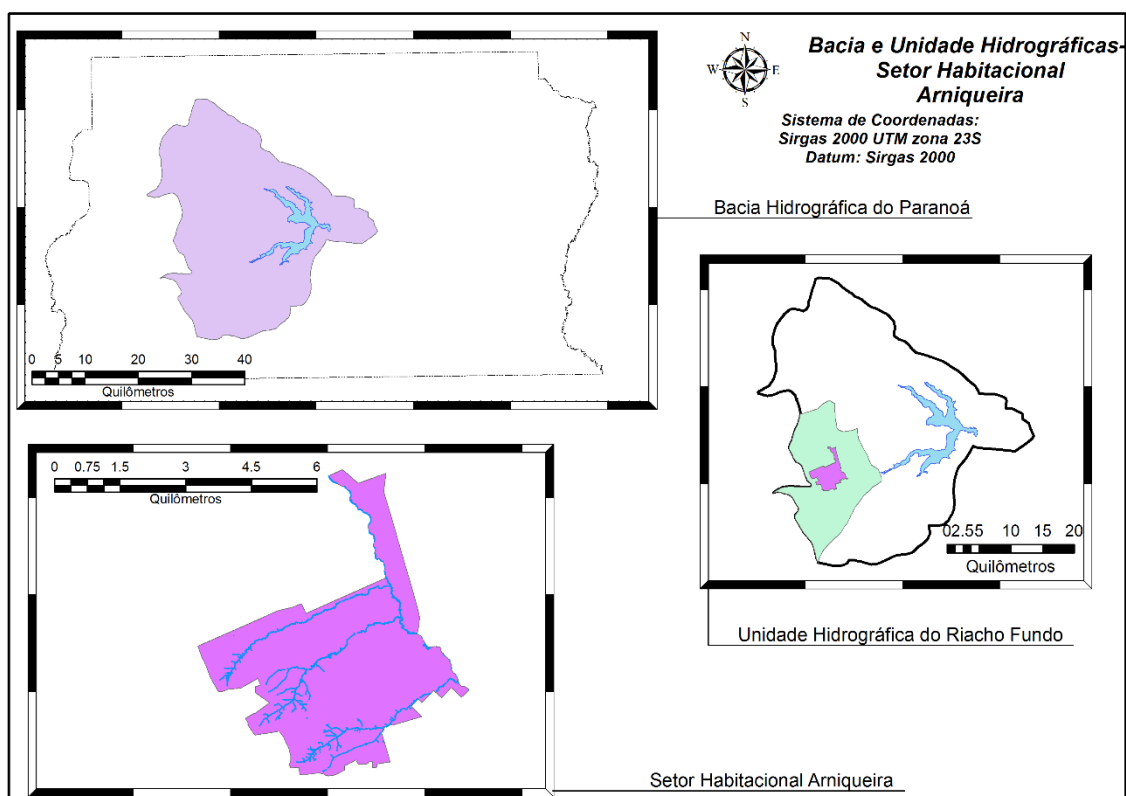


Figura 4.5 - Bacia e Unidade Hidrográficas.

A Unidade Hidrográfica do Riacho Fundo é formada pelo córrego Riacho Fundo que recebe, na margem direita, o córrego Coqueiros e córregos de menor porte como, o Cabeceira do Valo, Cana do Reino, Samambaia e Águas Claras. Na margem esquerda o principal contribuinte é o córrego Vicente Pires, e este recebe a contribuição dos córregos Vereda da Cruz, Arniqueira e Vereda Grande que atravessam a área de estudo.

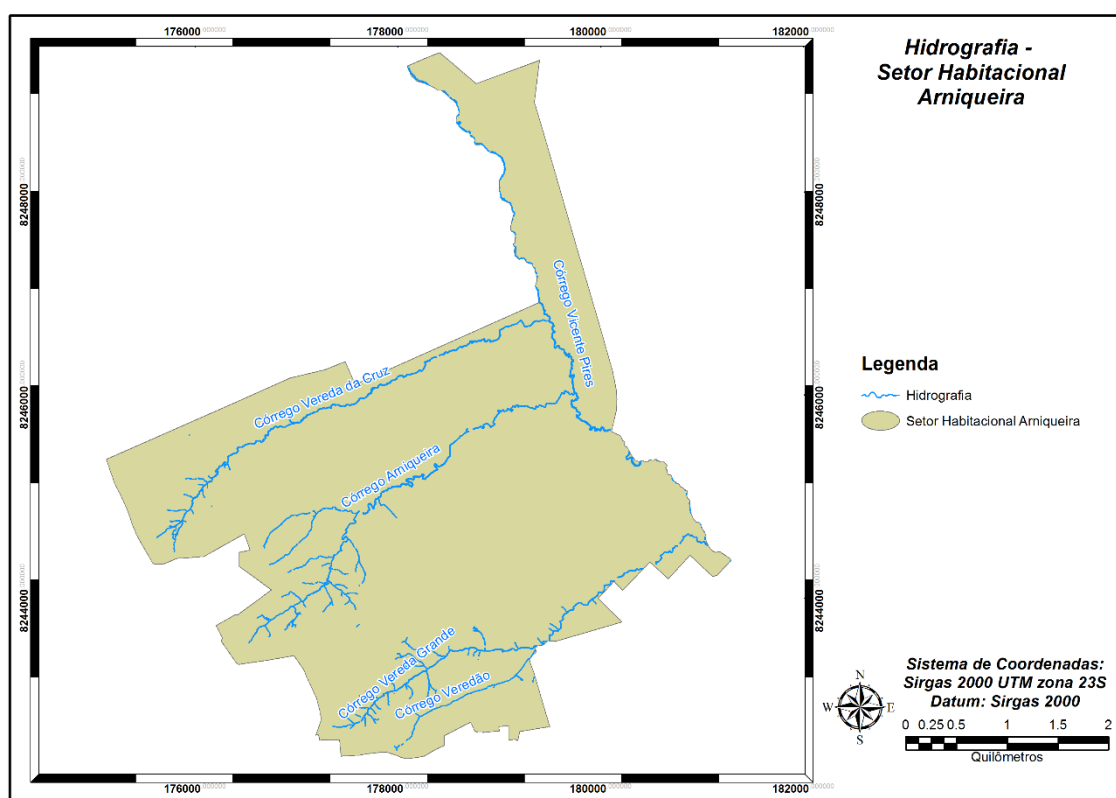


Figura 4.6 - Hidrografia SHAr

O córrego Arniqueira tem sua bacia quase totalmente urbanizada, os córregos Vereda Grande e Vereda da Cruz também estão sob a mesma situação, urbanização essa que em sua grande maioria vem do SHAr. A proximidade do SHAr com os córregos Vicente Pires, Vereda Grande, Vereda da Cruz, Arniqueira e Veredão pode causar impactos de grande magnitude sobre o Lago Paranoá, uma vez que o Vicente Pires receberá todos os impactos gerados em seus afluentes e os carregará para o Riacho Fundo. Estes impactos negativos estão relacionados ao aumento de sedimentos, carregados para os córregos, assoreando o braço sul do Lago Paranoá, além do aporte de nutrientes e outros contaminantes.

#### 4.1.3.2 Clima

A área de estudo tem a predominância do clima “tropical de Savana”. A caracterização climática foi realizada utilizando os dados da estação climatológica automática da Fazenda Água Limpa da Universidade de Brasília. O regime de chuvas tem como característica a grande variação e define duas estações: um verão chuvoso e um inverno seco. Durante os meses de novembro, dezembro e janeiro, acontece a precipitação de 47% do volume total e a partir do mês de janeiro, inicia-se a diminuição das chuvas, sendo que nesse mês ocorrem com frequência os veranicos.

Foram levados em conta os dados de precipitação, entre os anos de 2000 até 2010. A precipitação média nestes anos foi de 1324,2 milímetros, com valor mínimo de 1043,1 milímetros, registrado no ano de 2007 e valor máximo de 1689,7 milímetros em 2000.

Os meses de maiores médias de precipitação são os de março, dezembro e fevereiro com médias de 254,7, 228,3 e 214,4 milímetros respectivamente. Por outro lado, as precipitações com menores médias são nos meses de julho, agosto e junho, com médias de 0,0, 2,3 e 3,8 milímetros respectivamente. O gráfico da figura 4.7 ilustra a distribuição das precipitações ao longo dos meses.

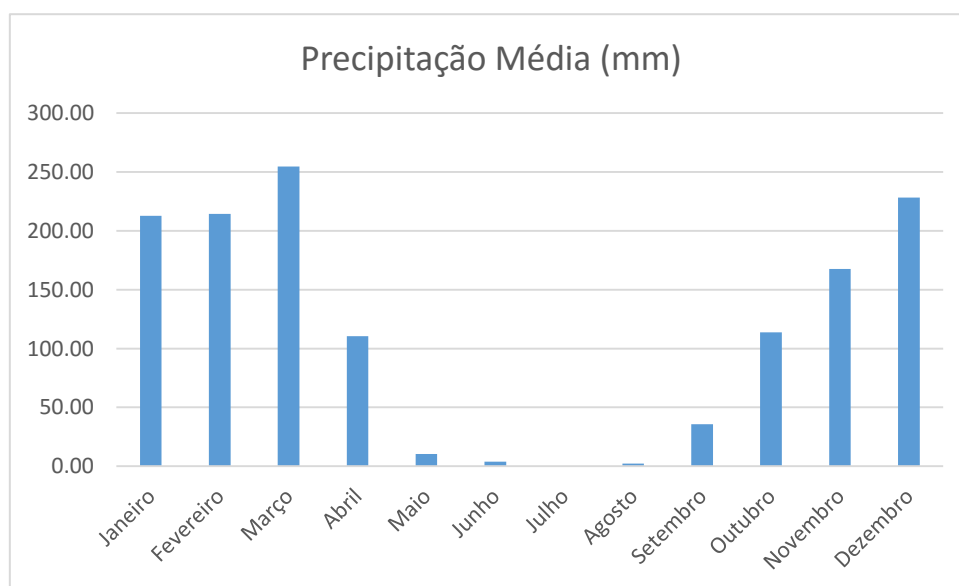


Figura 4.7 - Precipitações Médias Mensais  
Fonte : Topocart, 2014.

## 4.2 MODELAGEM HIDROLÓGICA

Para análise da drenagem de águas pluviais na região estudada foi utilizado o programa SWMM. Para se entender melhor como foi realizada a modelagem criou-se um fluxograma, exibido na figura 4.8.

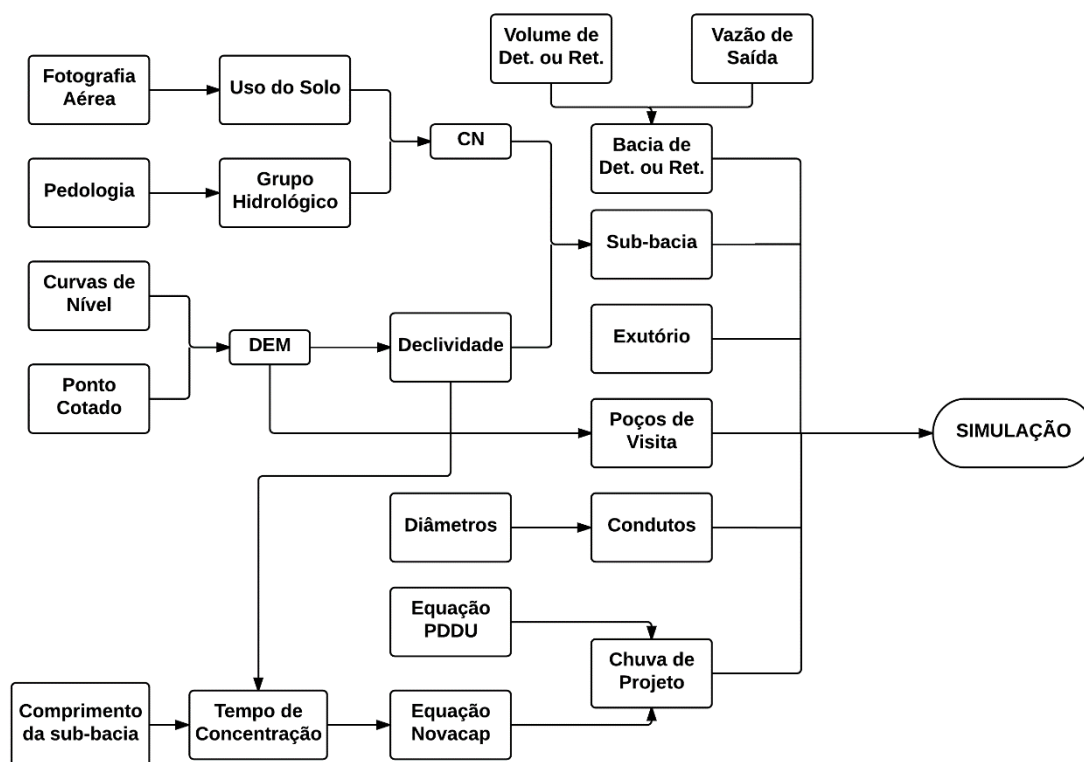


Figure 4.8 - Fluxograma da Modelagem Hidrológica

### 4.2.1 Dados Necessários Ao Modelo

Os dados de entrada fornecidos ao modelo são:

- Precipitação pluviométrica;
- Áreas de contribuição: declividade média, área, percentual permeável do solo;
- Poços de visita: cotas, profundidade;
- Tubulações: seção, diâmetro, comprimento;
- Nível do lençol freático, poços de bombeamentos (opcional).

O SWMM simula diferentes processos capazes de produzir escoamentos nas áreas urbanas. A variabilidade espacial desses processos é feita pela divisão de sub-bacias, cada uma com sua própria fração de subáreas permeáveis e impermeáveis. Entre os processos simulados estão:

- Precipitações variáveis no tempo.
- Evaporação de águas empoçadas.
- Acumulação e degelo da neve.
- Interceptação de precipitações por armazenamento em depressões.
- Infiltração das precipitações em camadas do solo não saturadas.
- Percolação da água infiltrada nas camadas dos aquíferos.
- Troca de fluxo entre os aquíferos e o sistema de drenagem.
- Modelagem do fluxo superficial por meio de reservatórios não-lineares.
- Captação e retenção das precipitações e dos escoamentos em diversos dispositivos de baixo impacto.

#### **4.2.2 Obtenção dos Dados**

Para obtenção de parte dos dados necessários para a simulação dos cenários foram contatadas a Terracap e Topocart. A Terracap disponibilizou o Estudo de Impacto Ambiental –EIA e o Relatório de Impacto Ambiental – RIMA, os quais foram elaborados para a regularização da área de estudo. Algumas das informações disponíveis no EIA/RIMA estão relacionadas ao clima, geologia, geomorfologia, pedologia, geotecnia, hidrogeologia, entre outros, esses parâmetros fornecem informações para determinação de alguns dos dados de entrada do modelo.

A Topocart forneceu os dados referentes ao projeto da rede de drenagem, como poços de visita, diâmetro da rede, coeficiente de atrito, entre outros, além das áreas de drenagem para cada poço de visita. Utilizou-se ainda as curvas de nível e pontos cotados da base de dados Caesb. Todos os dados fornecidos foram de grande valia e suma importância para a realização desse estudo.

Os dados fornecidos foram inseridos de forma direta no modelo ou foram processados para a realização da modelagem.

##### **4.2.2.1 Uso do Solo**

O SHAr é uma região com um uso do solo bastante heterogêneo. Para a determinação das diversas ocupações do solo existentes utilizou-se a classificação proposta por Ferrigo (2014). As classes encontradas no SHAr estão discretizadas na tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Uso e Ocupação do Solo. Fonte: Ferrigo (2014) – Adaptada.

Uso e Ocupação do Solo	Descrição
Áreas Urbanizadas Alta Densidade	Áreas de urbanização que apresentam mais de 70% de impermeabilização.
Áreas Urbanizadas Alta/Média Densidade	Áreas de urbanização que apresentam entre 50 e 70% de impermeabilização.
Áreas Urbanizadas Baixa/Média Densidade	Áreas de urbanização que apresentam entre 30 e 50% de impermeabilização.
Áreas Urbanizadas Baixa Densidade	Áreas de urbanização que apresentam menos de 30% de impermeabilização.
Vias Pavimentadas	Rodovias e vias urbanas que apresentam sua superfície de rolamento com pavimento asfáltico ou de concreto.
Vias não Pavimentadas	Rodovias e vias urbanas que não apresentam sua superfície de rolamento com pavimento asfáltico ou de concreto.
Áreas Preservadas/Cerrado	Áreas de cerrado e cerradão, de vegetação nativa com predomínio de espécies arbustivas e herbáceas, e vegetação nativa de porte arbóreo apresentando dossel contínuo.
Culturas Anuais/Olericultura	Talhões de plantações de culturas temporárias e de ciclo anual.
Culturas Perenes/Fruticulturas	Área de cultura de plantas frutíferas, de ciclo perene.
Mata de Galeria	Áreas de vegetação típica ao longo das linhas de drenagem, localizando-se geralmente nos fundos dos vales, não apresentando caducifólia durante a estação seca e que apresenta uma superposição das copas.
Campo Limpo	Áreas com vegetação predominantemente herbáceo arbustiva, com arbustos e subarbustos esparsos e algumas árvores.
Áreas Vegetadas	Áreas de vegetação com altura média do estrato arbóreo entre 10 e 30 m, apresentando uma superposição das copas de modo a fornecer cobertura arbórea de 60 a 100%.
Solo Exposto	Áreas com retirada total da cobertura vegetal, incluindo solos em pousio.
Água/ Pequenos Lagos/ Açudes	Áreas que contém permanentemente uma quantidade variável de água.
Áreas Alagáveis/ Campos de Murundus	Áreas predominadas por murundus (pequenas porções mais elevadas com espécies vegetais típicas do cerrado) e a porção rebaixada topograficamente, predominada por uma vegetação graminóide que sofre influência de inundações periódicas.

A partir dessas classes, foram analisadas as fotografias aéreas da área de estudo registradas em 1964 e 2013, para se definir quais eram os usos antes do processo de urbanização (1964) e após a urbanização já consolidada (2013). A classificação foi realizada visualmente utilizando o software ArcGIS 10.3.1 por meio da criação de polígonos de acordo com a ocupação do solo, com uma ressalva para as vias pavimentadas as quais já possuíam um shape próprio. Após a criação de todos os polígonos e a consequente classificação de toda a áreas, todas os polígonos foram unidos pela ferramenta *merge*.

#### 4.2.2.2 Definição do CN

O CN é a curva número um índice de escoamento superficial que leva em conta a pedologia da região, o uso e ocupação do solo e as condições antecedentes de umidade do mesmo. Para a determinação do CN deve-se conhecer a pedologia da região estudada,

além do uso e ocupação do solo. A partir da pedologia se classifica o solo de acordo com o grupo hidrológico que este pertence, a partir da relação entre o grupo hidrológico e o uso do solo se determina o CN (McCuen (1998) *apud* Tomaz (2011)).

A tabela 4.2 apresenta os tipos de solo, de acordo com o modelo o Soil Conservation Service – SCS (Tucci *et al.* (1993)):

Tabela 4.2 – Grupos Hidrológicos de Solos . Fonte: Tucci et al. (1993).

Grupo Hidrológico	Características do Solo
<b>A</b>	Solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração. Solos arenosos profundos com pouco silte e argila.
<b>B</b>	Solos menos permeáveis do que o anterior, solos arenosos menos profundo do que o tipo A e com permeabilidade superior à média.
<b>C</b>	Solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo percentagem considerável de argila e pouco profundo.
<b>D</b>	Solos contendo argilas expansivas e pouco profundos com muito baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial.

Após a caracterização dos solos utilizou-se a ferramenta *intersect* do ArcGIS 10.3.1 para combinar os dados de ocupação do solo e o grupo hidrológico sobre o qual essa ocupação está estabelecida, a partir dessa relação se determina o CN. Tucci *et al.* (1993) também definiram essa relação e quantificaram o CN. Para se entender melhor a metodologia implementada foi feita uma adaptação na tabela de valores de CN, nesse trabalho estão expostos somente os valores correspondentes aos usos do solo e grupos hidrológicos encontrados no SHAr.

Tabela 4.3– Curva Número. Fonte: Tucci et al. (1993) – Adaptada.

Uso e Ocupação do Solo	Grupo Hidrológico/ CN	
	<b>A</b>	<b>D</b>
Áreas Urbanizadas Alta Densidade	98	98
Áreas Urbanizadas Alta/Média Densidade	77	92
Áreas Urbanizadas Baixa/Média Densidade	61	87
Áreas Urbanizadas Baixa Densidade	57	86
Vias Pavimentadas	98	98
Vias não Pavimentadas	72	89
Áreas Preservadas/Cerrado	46	84
Culturas Anuais/ Olericultura	77	94
Culturas Perenes/ Fruticulturas	64	88
Mata de Galeria	26	69
Campo Limpo	49	84
Áreas Vegetadas	25	77
Solo Exposto	68	89



Água/ Pequenos Lagos/ Açudes	92	92
Áreas Alagáveis/ Campos de Murundus	85	85

Para as condições iniciais de umidade considerou-se que o período de seca antes da chuva simulada era de 7 dias, um padrão do programa PCSWMM.

#### 4.2.2.3 Relevo e Declividade

Utilizaram-se as curvas de nível e ponto cotados para a determinação do relevo da região do SHAr, a partir desses dados foi elaborado um modelo digital de elevação (DEM) para a área estudada. Por meio desse DEM se determinou as cotas dos poços de visita da rede de drenagem.

A partir do DEM também foi possível a caracterização da declividade do SHAr, a declividade foi dividida em 5 classes, da mais plana a mais íngreme, a declividade é um dos dados de entrada das áreas de contribuição para o modelo.

#### 4.2.2.4 Opções de Simulação

Para a simulação dos cenários no PCSWMM, deve-se indicar uma série de parâmetros, os quais definirão sob quais condições a simulação ocorrerá. Como o modelo de infiltração, o qual optou-se pelo modo curva número pelos dados existentes e pela facilidade de quantificação do mesmo, os processos de modelagem ocorreram no modo chuva-vazão e a forma de escoamento adotada foi a de onda dinâmica que executa as equações de Saint-Venant de forma completa, o que permite a existência de um escoamento variável.

Quanto ao tempo de simulação, para a precipitação definida pela equação do PDDU utilizou-se um tempo de simulação de 48 horas. Já para a precipitação definida pelas equações da Novacap o tempo de simulação foi de 36 horas.

#### 4.2.2.5 Precipitações de Projeto

A precipitação de projeto a ser simulada foi determinada de acordo com duas equações: a equação utilizada pela Topocart para o estudo no SHAr e da Concremat, determinada para o Distrito Federal no PDDU. As equações para cálculo da precipitação são as equações 4.1 e 4.3, respectivamente.

Para a determinação da precipitação a Topocart utilizou a equação fornecida pela Novacap para estudos de projetos de drenagem no Distrito Federal. O tempo de recorrência de projeto é de 20 anos. A intensidade da precipitação é definida pela equação 4.1:

$$i = \frac{21,7 \times T_r^{0,16}}{(t + 11)^{0,815}}$$

Equação 4.1.

Onde :

i = Intensidade da chuva (mm/min);

T<sub>r</sub> = Tempo de Recorrência (anos);

t = Duração (min).

Pelas características da maior área de drenagem escolheu-se a fórmula mais adequada para o cálculo da duração, essas características foram comparadas as indicações para cada forma de cálculo encontradas em Silveira (2005), por fim escolheu-se a equação 4.2 (adaptada) de McCuen *et al.* (1984) para bacias urbanas:

$$t = 2,25^{-0,7164} \times L^{0,5552} \times S^{-0,207} \times 60$$

Equação 4.2.

Onde:

t = Duração (min);

L = Comprimento da bacia (km);

S = Declividade da bacia (m/m)

A Concremat no Plano Diretor de Drenagem Urbana – PDDU recomenda o método racional como forma de determinar a vazão gerada em uma bacia por uma certa precipitação simulada, deve-se ressaltar que o uso desse método é recomendável para cenários com áreas de até 200 ha, bacias de maior porte tem como recomendação do PDDU a utilização de outros métodos, como o hidrograma unitário. A equação 4.3 permite o cálculo da intensidade da chuva, que por sua vez fornece a base para o cálculo da precipitação.

$$I = \frac{1574,7 \times T^{0,207}}{(t + 11)^{0,884}}$$

Equação 4.3.

Na qual, T é o tempo de retorno em anos, t é a duração em minutos e I é a intensidade em mm/h. A altura de precipitação pode ser calculada de forma simples a partir da equação 4.4.

$$P = I \times t$$

Equação 4.4.

Em que P é a precipitação em mm, I é a intensidade em mm/h e t é a duração em horas.

### 4.3 DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS

O SHAr é uma área de ocupação espontânea, a qual terá sua rede de drenagem urbana implementada de forma correta a partir da regularização da área, o local apresenta diversos problemas relacionados à drenagem como inundações e erosões. Foram realizadas simulações com a aplicação do modelo PCSWMM quantificando o escoamento superficial de cinco diferentes cenários possíveis em três sub-bacias, as quais fazem parte do SHAr. Esses cenários foram comparados entre si para uma avaliação dos impactos da urbanização e das medidas tomadas para se minimizar esse impacto sobre o escoamento superficial, devido à ausência de dados para a região não foi possível a calibração do modelo, o que não diminui a relevância do estudo uma vez que todos os cenários foram realizados sob as mesmas condições.

Os cenários avaliados com o auxílio da plataforma SWMM foram:

- a) **Cenário de Pré-urbanização:** Compreende a simulação do escoamento superficial em seu comportamento próximo do natural, esse cenário considera o uso e ocupação do solo de 1964, quando a interferência humana na região era a mínima registrada fotograficamente.
- b) **Cenário Atual:** Compreende a simulação do escoamento superficial em seu cenário atual, esse cenário considera o uso e ocupação do solo de 2013 e não leva em consideração nenhuma rede de drenagem existente na região uma vez que essas não foram executadas pela Novacap e são poucas, logo o escoamento correrá pela superfície como ocorre atualmente.
- c) **Cenário com a rede de drenagem proposta pela Topocart/Novacap, sem bacias de retenção (Cenário com Rede):** Compreende uma tentativa

de simulação do escoamento superficial no cenário futuro, com a rede de drenagem convencional já implementada, contudo sem as técnicas compensatórias (bacias de retenção) propostas.

- d) **Cenário com a rede de drenagem proposta pela Topocart/Novacap, com bacias de retenção (Cenário com Bacia):** Compreende uma tentativa de simulação do escoamento superficial no cenário futuro, com a proposta completa da Novacap/Topocart, vale ressaltar que nesse cenário uma das sub-bacias não possui bacia de retenção, pela indisponibilidade de área.
- e) **Cenário alternativo com a rede de drenagem proposta completa da Topocart/Novacap, com bacias de retenção e retenção (Cenário com bacias de det. e ret.):** Esse cenário é uma ideia de adaptação do cenário com bacia, o qual possui uma aplicação de bacias de retenção no fim da rede e uma bacia de retenção intermediária na rede da sub-bacia 03.

#### 4.4 CÁLCULO DOS RESERVATÓRIOS DE QUANTIDADE E QUALIDADE

Os reservatórios de quantidade e qualidade são uma exigência tanto do PDDU, quanto da resolução nº 9, de 08 de abril de 2011, para novas redes de drenagem. Como esses serão aplicados nos cenários com Bacia e com bacias de retenção e retenção, conhecer suas formas de cálculo é de suma importância para esse trabalho.

Os reservatórios de quantidade serão dimensionados para efeitos comparativos, uma vez que a Topocart já forneceu os seus valores. Os reservatórios de quantidade são determinados a partir da equação 4.5.

$$V_{qt} = (4,705 \times A_i) \times A_c$$

Equação 4.5.

Onde:

$V_{qt}$  = Volume do Reservatório ( $m^3$ );

$A_i$  = Porcentagem impermeável da área de contribuição;

$A_c$  = Área de Contribuição (ha).

Já os reservatórios de qualidade serão aplicados no cenário com Bacias de det. e ret., a forma de dimensionamento segue a equação 4.6.

$$V_{ql} = (33,8 + 1,8 \times A_i) \times A_c$$

Equação 4.6.

Onde:

$V_{ql}$  = Volume do Reservatório (m<sup>3</sup>);

$A_i$  = Porcentagem impermeável da área de contribuição;

$A_c$  = Área de Contribuição (ha).

A vazão de saída dos reservatórios deve ser limitada pela equação 4.7.

$$Q = V_r / 86,4$$

Equação 4.7.

Onde:

$Q$  = Vazão de Saída (l/s);

$V_r$  = Volume do Reservatório (m<sup>3</sup>).

## 5 RESULTADOS

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DO SETOR HABITACIONAL ARNIQUEIRA

#### 5.1.1 Solos

Na região de estudo foram encontrados quatro tipos de solo, de acordo com o mapeamento feito pela EMBRAPA para os solos do DF (1978). Os solos encontrados foram Cambissolo, Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho-Escuro e Solos Hidromórficos. Como mostrado na Figura 5.1.

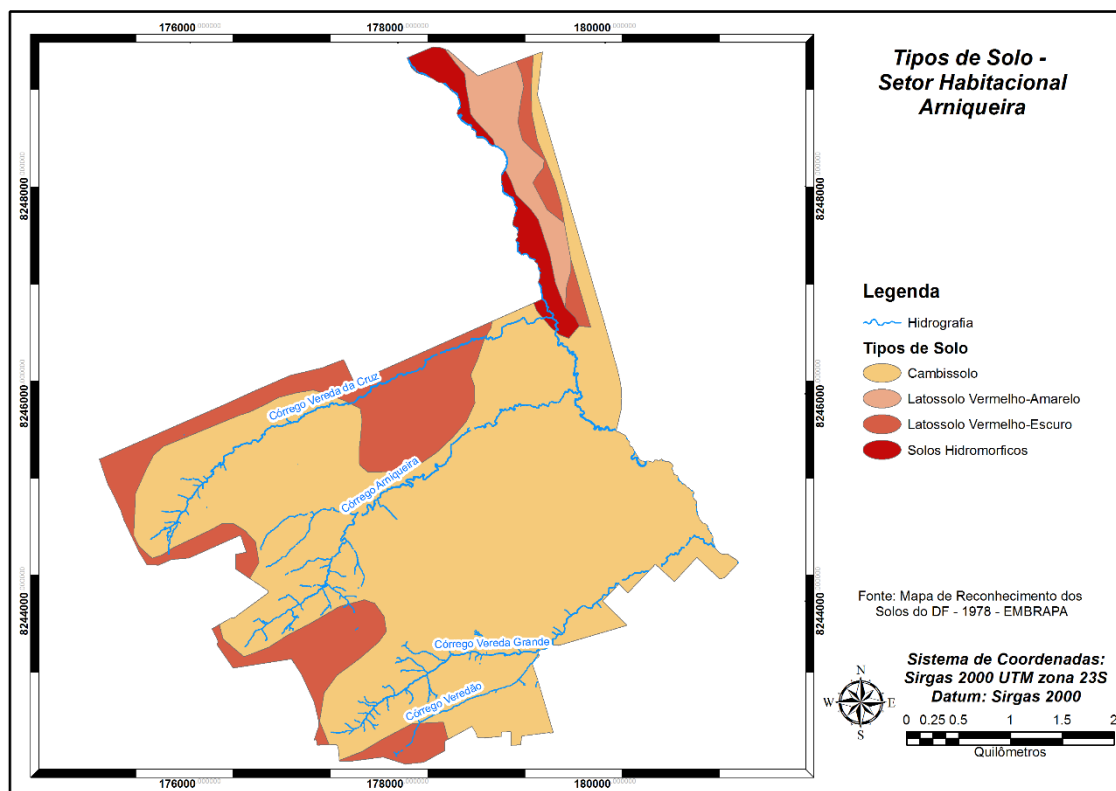


Figura 5.1 - Tipos de Solo

Os Cambissolos, que são a maior porção de solo do SHAr, são solos minerais com características variáveis, apresentando uma textura média a fina, pouca profundidade, e presença de fragmentos de rocha na massa do solo e outros indícios de intemperismo. Geralmente se apresentam em áreas com o relevo muito ondulado e acidentado e em geral apresentam alta erodibilidade e grande potencial de escoamento superficial (Sartori *et al.*, 2004; APTA).

Já os Solos Hidromórficos que se apresentam próximos às extremidades da área de estudo têm como características a inundação temporária de sua superfície e o encharcamento quase permanente ou apenas temporário dos níveis superiores do perfil, o que limita seu potencial de escoamento superficial, segundo Diniz (2005).

Por fim os Latossolos presentes em uma pequena porção da área de estudo, são encontrados em relevos com declividade inferior a 5% e possuem uma grande taxa de porosidade total, sendo comum valores de 50 a 60% mesmo naqueles com maiores teores de argila, devido a tal porosidade possuem uma boa drenagem interna. Apresentam baixa erodibilidade associada ao baixo potencial de escoamento superficial, contudo, quando submetidos às concentrações d'água devido à ação antrópica podem desenvolver ravinas profundas (Sartori *et al.*, 2004).

Segundo Sartori *et al.* (2004) os Latossolos e Solos Hidromórficos pertencem ao grupo hidrológico A de solos, pois são solos profundos, com alta taxa de infiltração e grande resistência à erosão, porosos, com baixo teor de argila e baixo potencial de escoamento superficial. Por sua vez os Cambissolos pertencem ao grupo hidrológico D, oposto ao A. Os solos do grupo D são solos com taxa de infiltração muito baixa, pouca resistência à erosão, rasos, orgânicos, com alto teor de argila, e alto potencial de escoamento superficial. Os grupos hidrológicos dos solos do SHAr estão apresentados na figura 5.2.

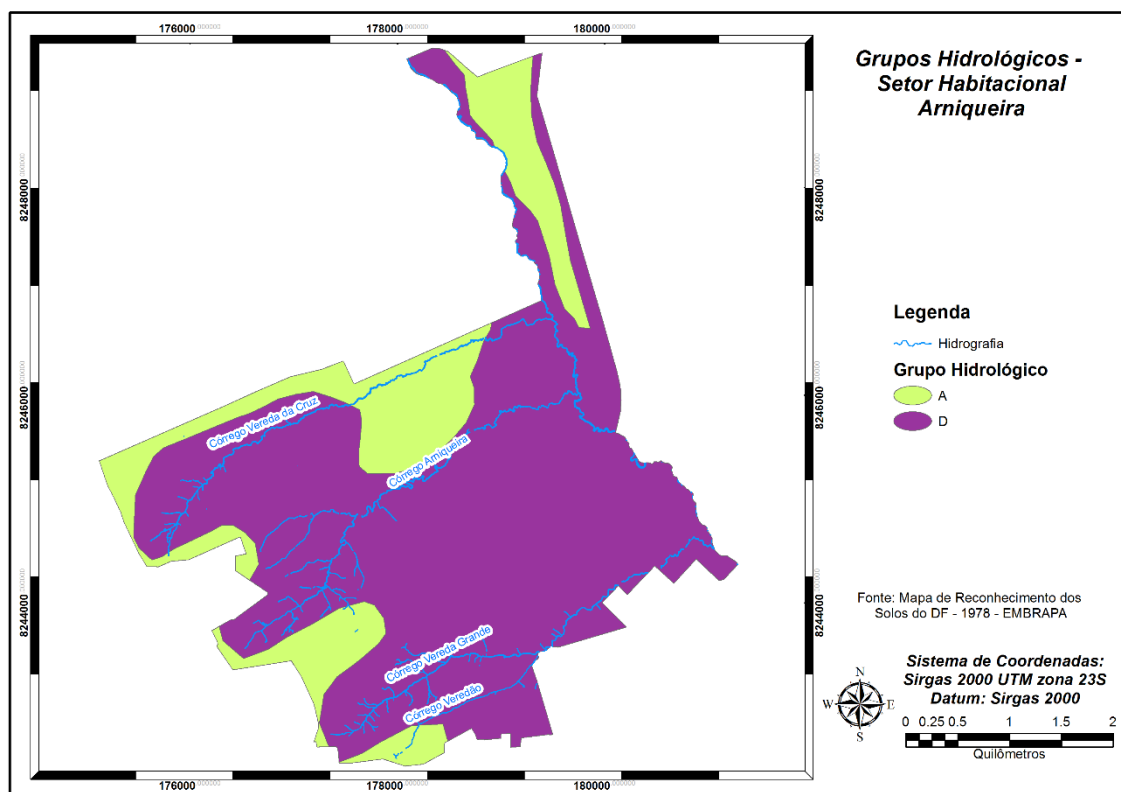


Figura 5.2 - Grupos Hidrológicos

### 5.1.2 Relevo

O relevo foi determinado pelas curvas de nível espaçadas de 1 em 1 m e ponto cotados da base da Caesb. Elaborou-se um DEM pelo ArcGIS 10.3.1 com o auxílio da ferramenta *topo to raster* da extensão *Spatial Analyst*. Por meio do DEM foi possível determinar a declividade da região estudada e a cota das bocas de lobo.

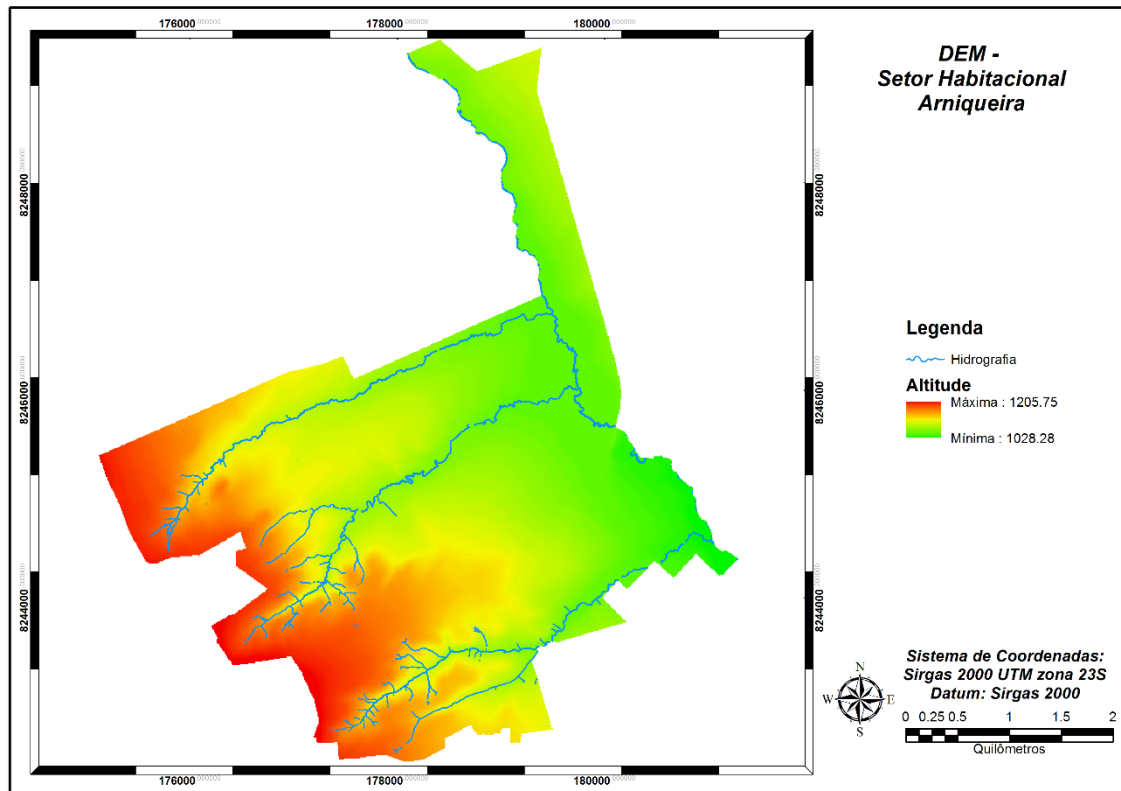


Figura 5.3 - Modelo Digital de Elevação

A partir do DEM determinou-se a declividade da área de estudo. A declividade foi determinada de acordo com a classificação de Uberti *et al.* (1991) *apud* Paula (2015), dividida em cinco classes: 0 a 3% - plano, 3 a 8% - suavemente ondulado, 8 a 20% - ondulado, 20 a 45 % - fortemente ondulado e maior que 45% como montanhoso.



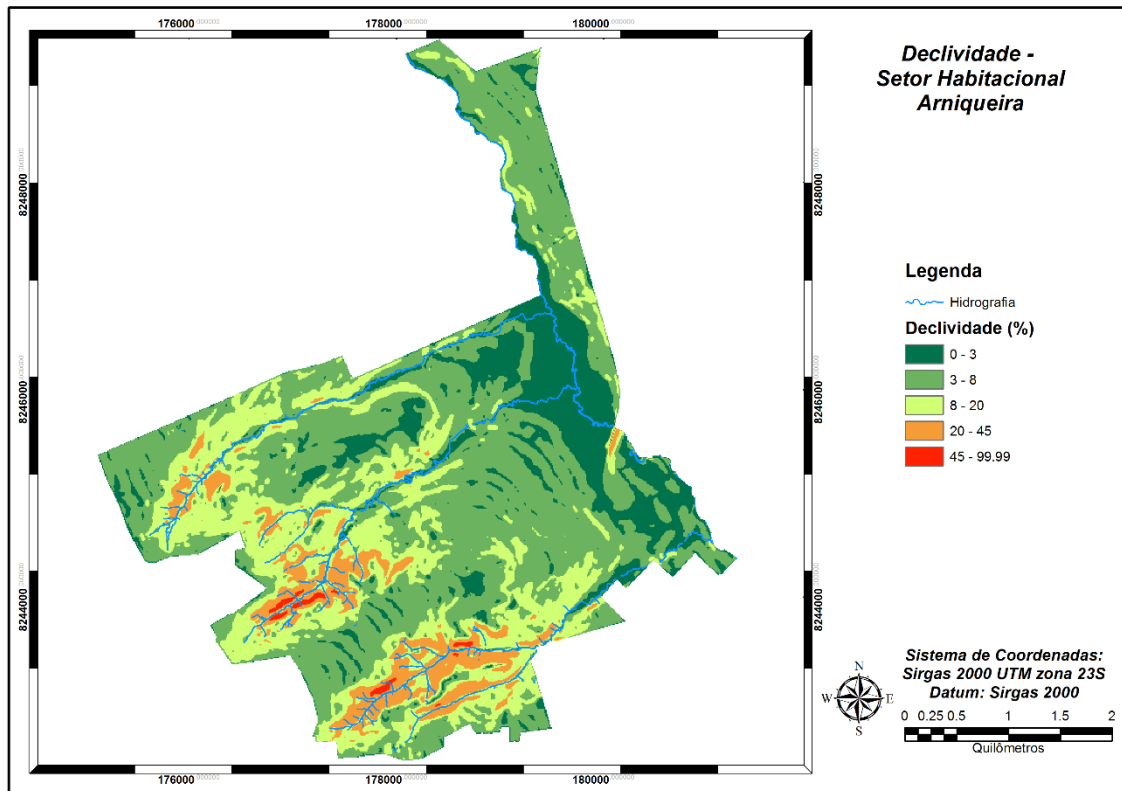


Figura 5.4 - Declividade

As maiores declividades podem ser encontradas próximas aos corpos d'água e em algumas porções de Cambissolo, como descrito anteriormente.

### 5.1.3 Uso e Ocupação do Solo e Curva Número

Elaboraram-se dois mapas de uso do solo para a realização das simulações, o primeiro foi elaborado sobre a fotografia aérea de 1964 para determinar as condições de pré-urbanização, o segundo mapa de uso do solo foi criado sobre a fotografia aérea de 2013 para a determinação do uso e ocupação do solo atualmente, após o processo de urbanização já ter se consolidado sobre a área de estudo. Os mapas criados estão evidenciados nas figuras 5.5 e 5.6.

A partir desses mapas de uso e ocupação do solo e sua combinação com o mapa de grupos hidrológicos foi possível determinar o CN para os diferentes períodos da área de estudo. A partir da determinação da curva número foram gerados dois mapas expostos nas figuras 5.7 e 5.8.

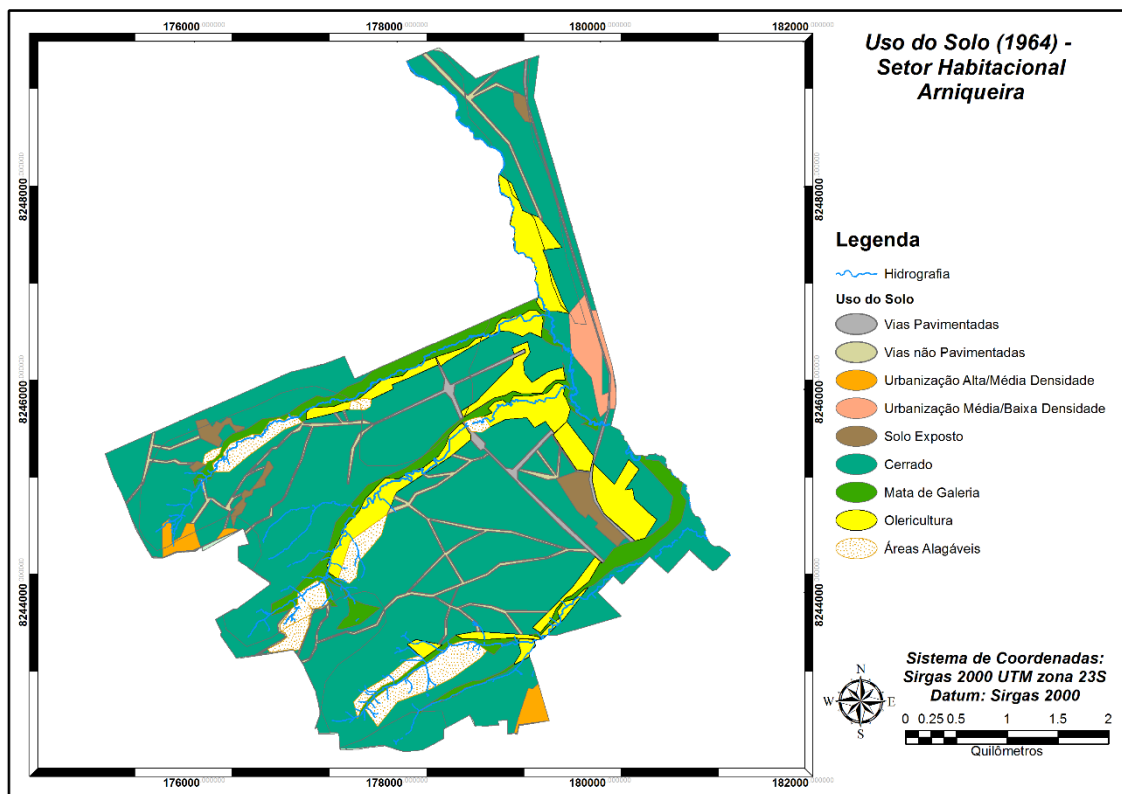


Figura 5.5 - Uso do Solo (1964)

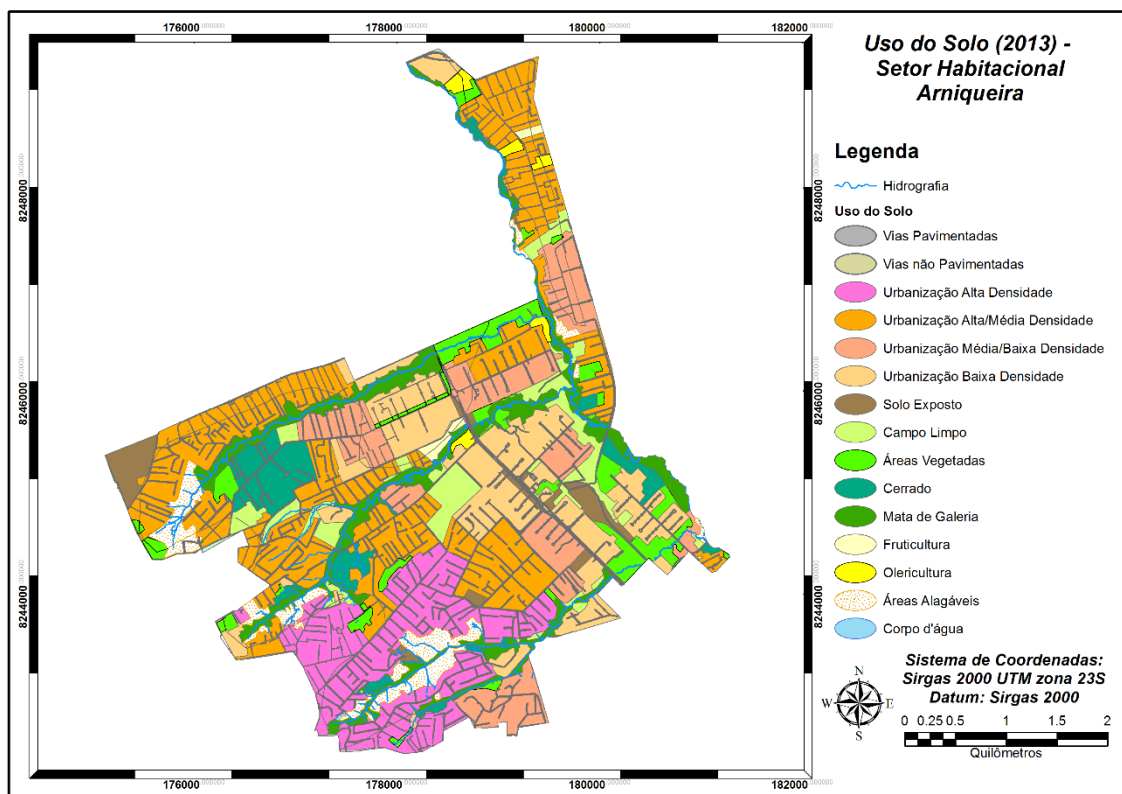


Figura 5.6 - Uso do Solo (2013)

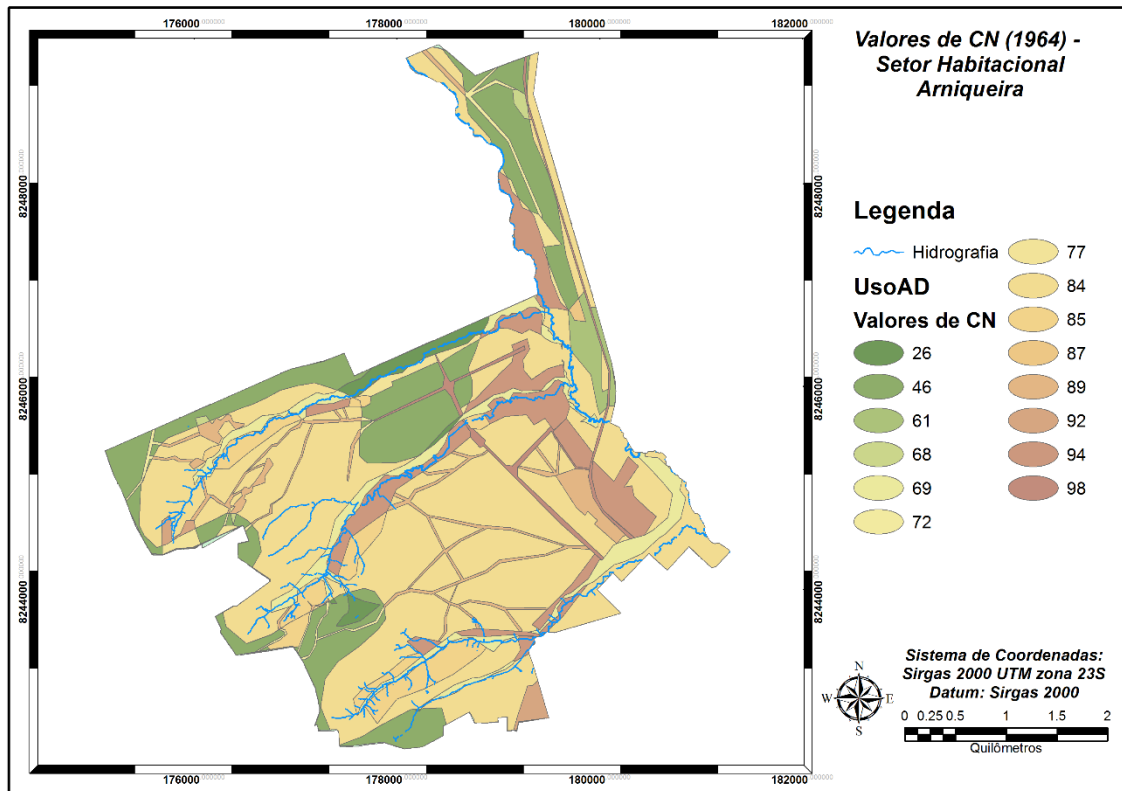


Figura 5.7 - Curva Número (1964)

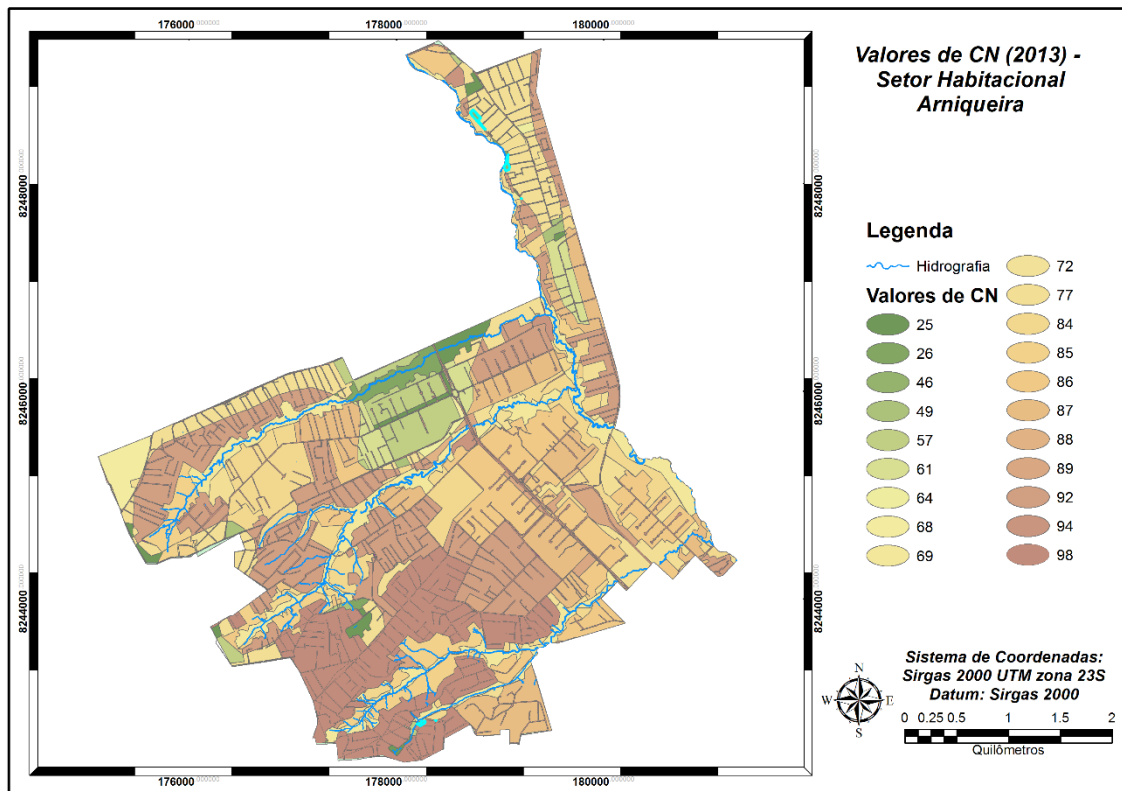


Figura 5.8 - Curva Número (2013)

#### 5.1.4 Sistema de Drenagem

A maior parte das obras de drenagem atual foram executadas por moradores ou associações de condôminos, sem qualquer critério técnico e plano de execução, em outras áreas não há qualquer elemento que seja destinado a criação de uma rede de drenagem.

Observa-se a existência de diversos problemas ocasionados pela inexistência de um sistema de drenagem pluvial ou por sistemas ineficientes. Durante o período chuvoso as consequências são severas e trazem danos à população, devido aos diversos locais nos quais ocorrem erosões e inundações.



*Figura 5.10 - Lançamento Irregular de Drenagem*  
*Fonte: Topocart, 2014*



*Figura 5.9 - Erosão no SHAr*  
*Fonte: Topocart, 2014*

Para a drenagem é necessário se analisar a bacia à qual a área em estudo se encontra como um todo, visto que toda precipitação dentro da bacia escoará e chegará até o exutório, no encontro dos córregos Riacho Fundo e Vicente Pires. Isso permite a análise da capacidade dos corpos hídricos, dos impactos da urbanização e um também um dimensionamento dos equipamentos mais próximo ao real. Para isso dividiu-se a bacia em 13 sub-bacias de acordo com a contribuição destas para os corpos hídricos da região (Ver na figura 5.11).

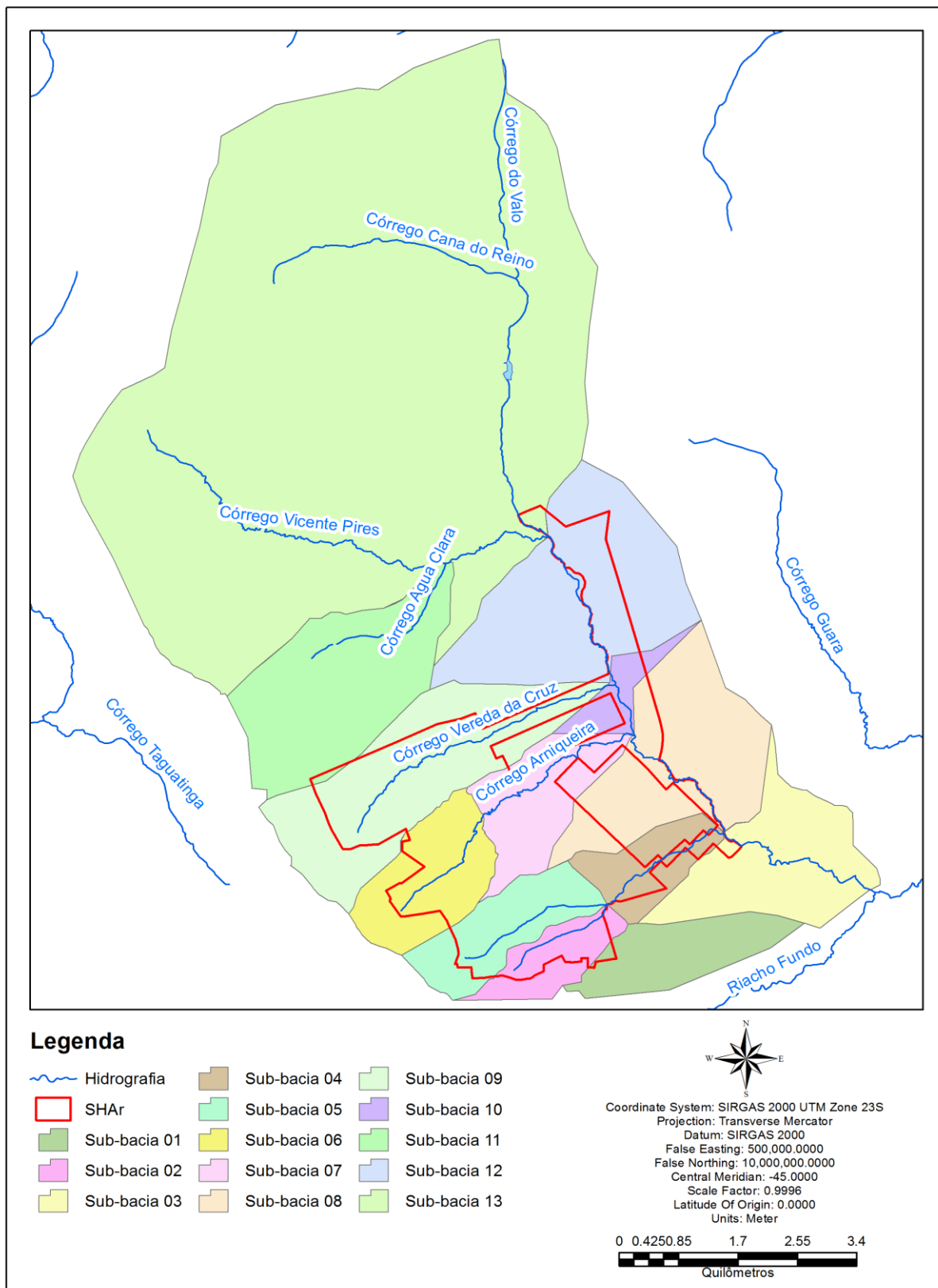


Figura 5.11 - Divisão das Sub-bacias do Córrego Vicente Pires  
 Fonte: Topocart, 2014 (adaptada)

## 5.2 REDE DE DRENAGEM PROPOSTA

A elaboração da rede de drenagem da região foi realizada considerando toda a bacia hidrográfica a que essa pertence, no caso a bacia do córrego Vicente Pires, o que considera a contribuição de áreas fora da área de estudo, que afetam a drenagem local. É de suma importância ressaltar que a rede de drenagem proposta pela Topocart ainda está em processo de aprovação na Novacap podendo sofrer alterações.

O sistema de microdrenagem será realizado por meio de sarjetas dispostas nas laterais das ruas, podendo ser em apenas um ou dos dois lados das vias (Figura 5.12). O controle na fonte pode ser feito por meio de pavimentos permeáveis (Figura 5.13), a fim de se auxiliar na redução da velocidade do escoamento superficial que permite reduzir em até 20% a quantidade de água que escoar superficialmente, em comparação ao asfalto, auxiliando no amortecimento dos picos de cheia.

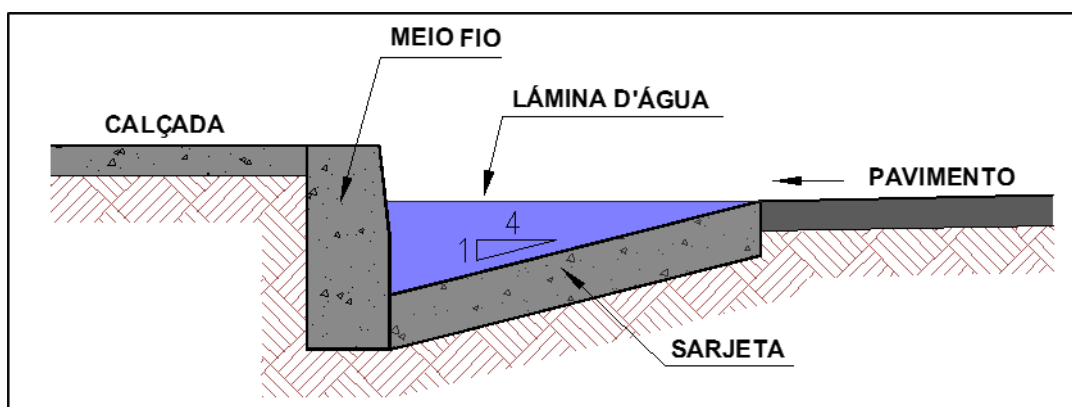


Figura 5.12 - Microdrenagem para o SHAr Fonte: Topocart, 2014



Figura 5.13 - Pavimento Permeável para o SHAr  
Fonte: Topocart, 2014.



Existem casos em que o uso de sarjetas e bocas-de-lobo não serão adotadas, pois técnicas compensatórias tais como valas de escoamento ou canais são passíveis de implementação. Dessa forma o lançamento pode ocorrer em locais que não o corpo hídrico de forma direta, sendo possível o lançamento em uma área verde em frente aos lotes. Com isso há a redução do pico de cheia pela redução da velocidade de escoamento, essa alternativa é viável para locais com pequenas áreas de contribuição, uma vez que essas áreas não são capazes de receber grandes volumes. A figura 5.14 ilustra este tipo de lançamento.



*Figura 5.14 - Lançamento em Área Verde*  
*Fonte: Topocart, 2014.*

Nos pontos de lançamento de águas pluviais deverão ser construídos reservatórios de detenção afim de amortecer os picos de cheia e reter a carga de poluentes a ser lançada no corpo receptor. Nos locais onde não for possível a adoção de reservatório, deverão ser construídos dispositivos que diminuam o impacto e a velocidade das águas pluviais. Em todos os lançamentos haverá dissipadores de impacto. A figura 5.15 fornece uma visão geral da proposta de manejo de águas pluviais desenvolvido para o SHAr.

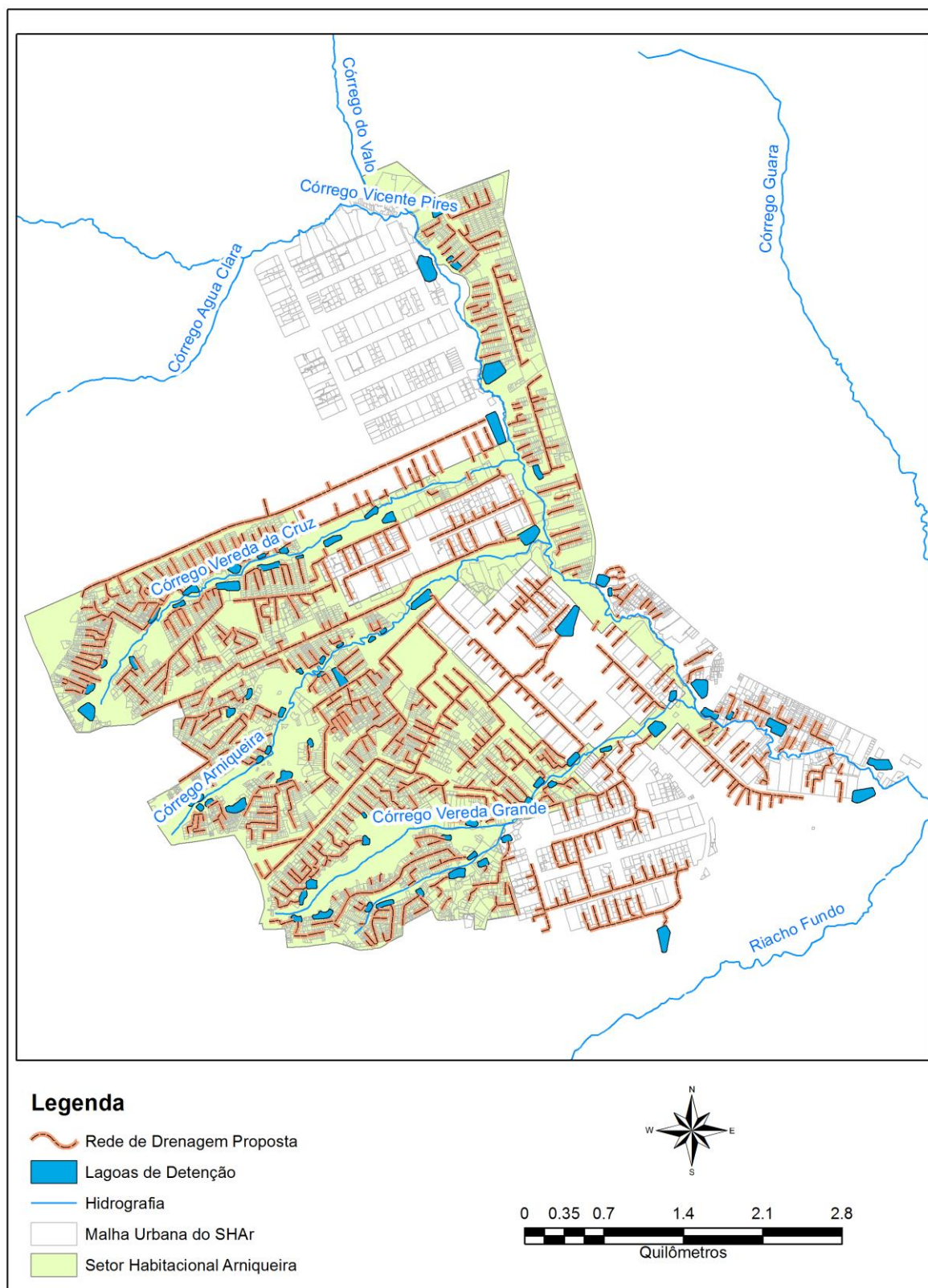


Figura 5.15 - Proposta de Manejo de Águas Pluviais no SHAr  
Fonte: Topocart, 2014 (Adaptada)



### 5.3 CARACTERIZAÇÃO DOS CENÁRIOS

Para a realização das simulações foram escolhidas três sub-bacias pertencentes à rede de drenagem do SHAr, o critério de escolha foi selecionar entre as redes de drenagem uma das que possuía maior extensão para se analisar, dessa forma, possíveis pontos críticos da rede elaborada. E para efeitos de validação também foram escolhidas duas sub-bacias menores localizadas à margem direita dessa sub-bacia maior. As sub-bacias escolhidas estão discretizadas na figura 5.16.

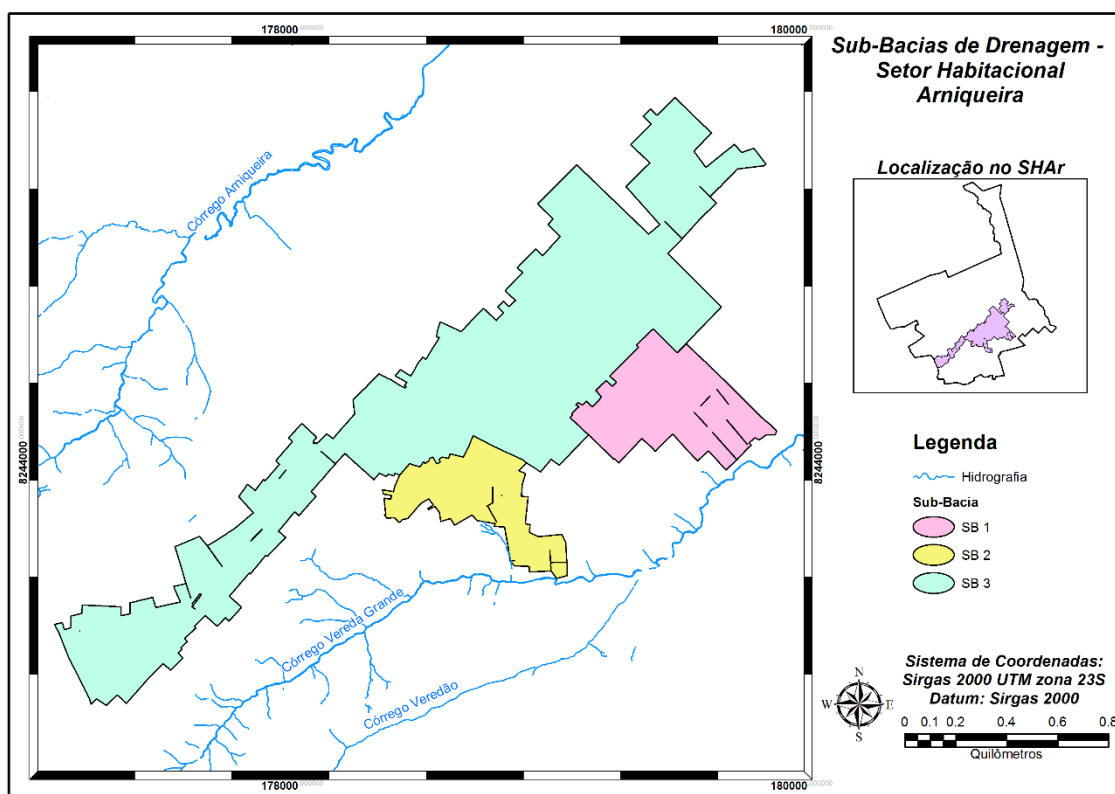


Figura 5.16 - Sub-Bacias de Drenagem Estudadas

A Sub-bacia 01 tem uma área de 22,75 ha e tem seu exutório localizado às margens do córrego Vereda Grande, no projeto da Novacap/Topocart possui uma lagoa de retenção antes do lançamento com um volume de 6500 m<sup>3</sup>. A Sub-bacia 02 possui uma área de 16,35 ha com o exutório localizado às margens do córrego Vereda Grande, essa sub-bacia não possui bacia de retenção no projeto da Novacap/Topocart. A Sub-bacia 03 tem uma área de 124,57 ha com o exutório de sua bacia de retenção, de 45500 m<sup>3</sup>, às margens do córrego Vicente Pires. As sub-bacias 01 e 02 possuem uma ocupação bem homogênea, enquanto a sub-bacia 01 possui uma urbanização de alta/média densidade a 02 possui uma alta densidade. A sub-bacia 03 possui uma heterogeneidade

próximo de sua cabeceira possui uma alta taxa de urbanização e entre o meio e a foz possui variações entre um índice de ocupação médio a baixo.

O mapa exibido na figura 5.17 define os cenários de pré-urbanização e atual, pois são os cenários que não possuem rede de drenagem, a diferença entre eles é o uso do solo utilizado para a determinação do CN, enquanto para o cenário de pré-urbanização utilizou-se o uso do solo de 1964, para o cenário atual utilizou-se o uso do solo de 2013.

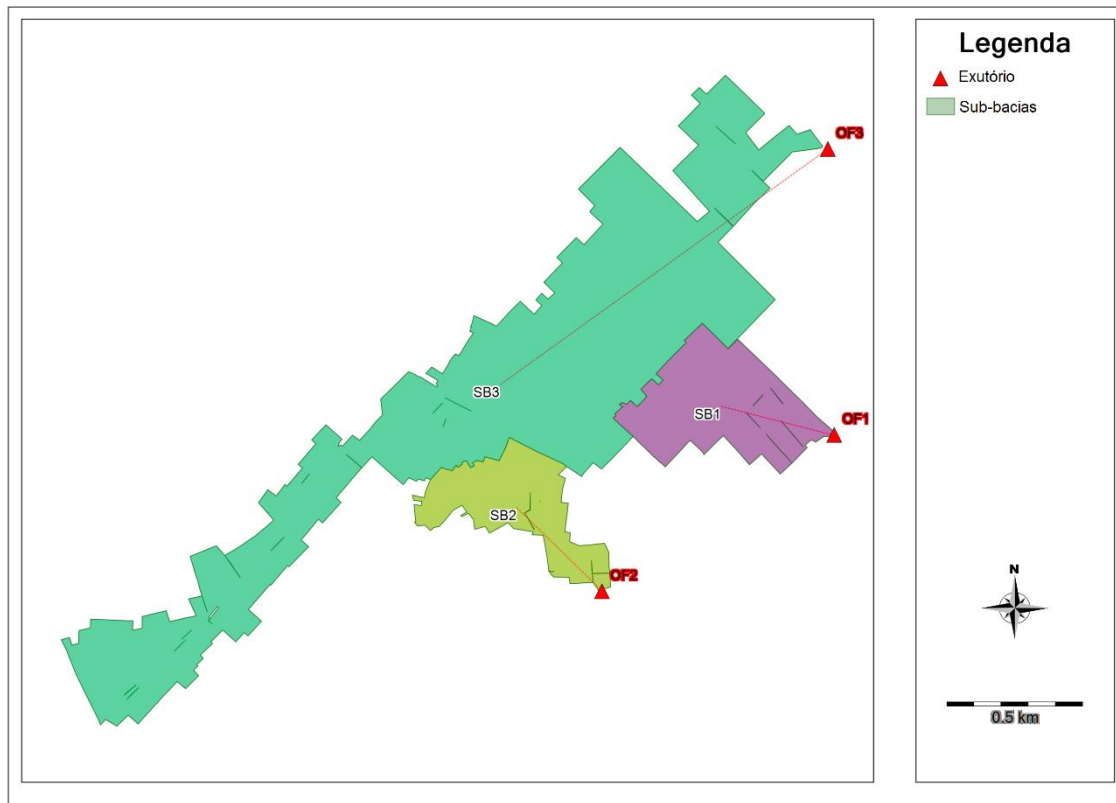


Figura 5.17 - Cenários de Pré-Urbanização e Atual

Para o cenário com a rede proposta pela Novacap/Topocart sem as bacias de retenção se utilizou o CN para o uso atual, determinado para cada sub-bacia com o auxílio do PCSWMM a partir da intersecção feita entre o uso do solo e as áreas de drenagem. A figura 5.18 mostra a representação do cenário com rede no PCSWMM.

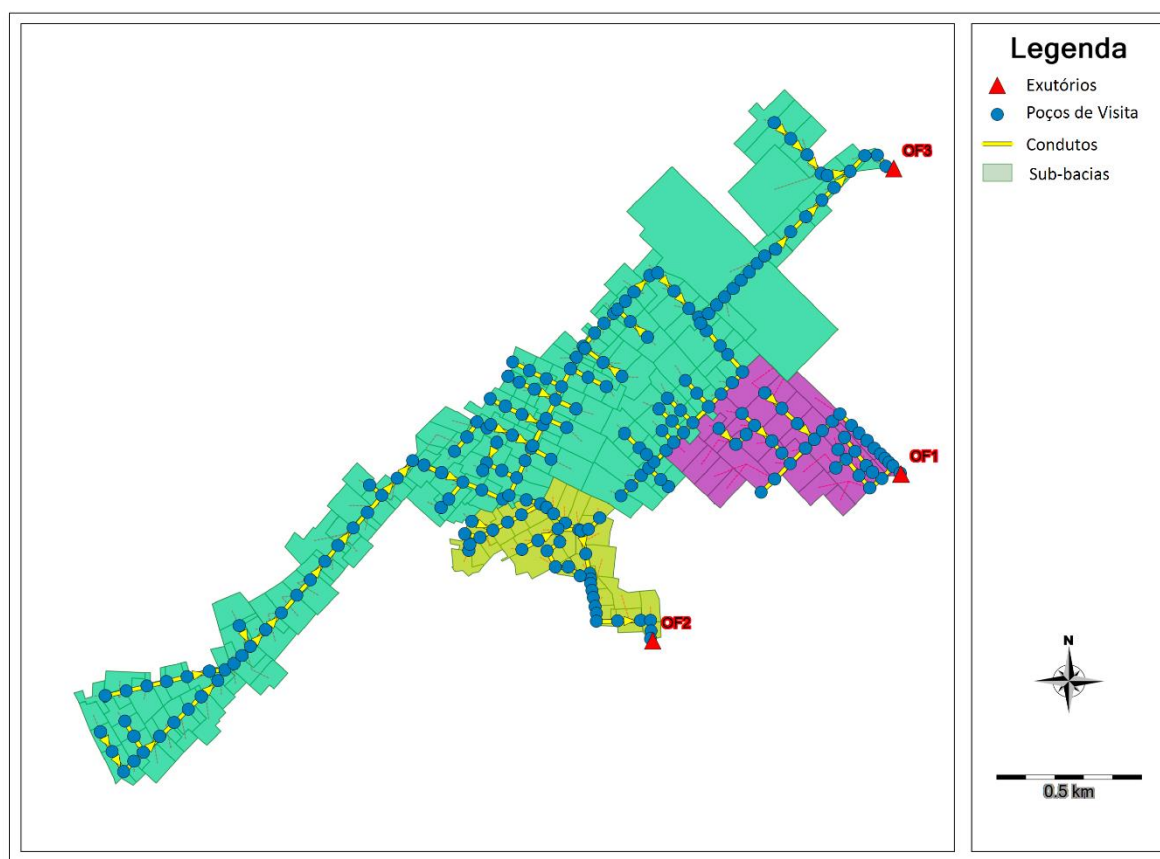


Figura 5.18 - Cenário com Rede

Para o cenário com a rede proposta pela Novacap/Topocart com as bacias de retenção se utilizou o CN para o uso atual, determinado para cada sub-bacia com o auxílio do PCSWMM, a partir da intersecção feita entre o uso do solo e as áreas de drenagem. As bacias de retenção utilizadas foram dimensionadas pela Topocart, contudo essas foram recalculadas com base na equação 4.5 para efeitos de comparação, os volumes e as vazões de saída estão apresentados na tabela 5.1, essas foram determinadas apenas para as sub-bacias 01 e 03, como no projeto. A figura 5.19 exibe o cenário com bacia.

Tabela 5.1 - Volumes e Vazões de Saída para as Sub-Bacias 01 e 03

Sub-Bacia	Calculado		Topocart	
	Volume(m <sup>3</sup> )	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Volume(m <sup>3</sup> )	Vazão (m <sup>3</sup> /s)
SB 01	9955	0.115	6500	0.075
SB 03	54716	0.633	45500	0.526

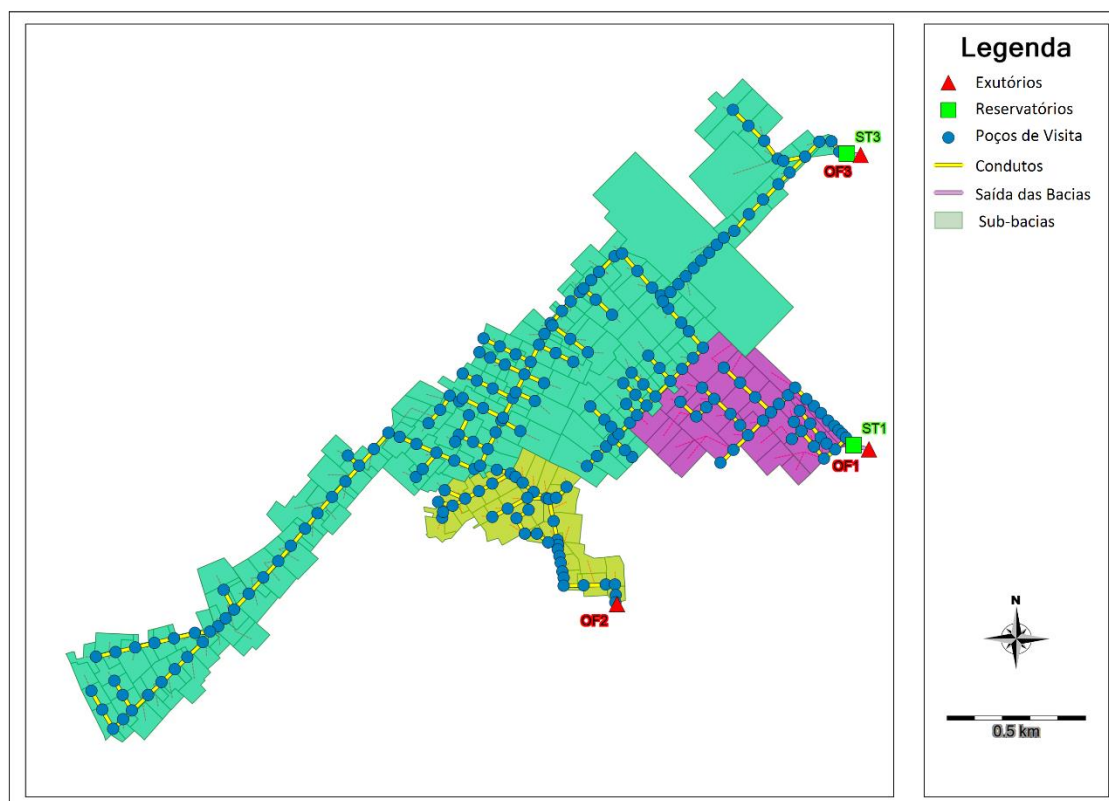


Figura 5.19 - Cenário com Bacia

Considerou-se também um cenário alternativo onde a rede é implementada com bacias de detenção e retenção. Para a implementação da bacia de retenção fez-se necessário realizar algumas modificações na rede, mudanças essas que priorizaram a redução do pico de vazão e o respeito às propriedades particulares, visto que muitas delas pertencem à população de baixa renda e que o processo de desocupação seria dispendioso e demorado. A bacia de retenção foi dimensionada somente para a sub-bacia 03, uma vez que as duas outras possuem área menor e não possuem espaços intermediários para a implementação das bacias e as bacias de retenção não seriam de extrema necessidade, uma vez que os picos de vazão delas são menores. Contudo o terreno escolhido para a bacia de retenção faz parte da sub-bacia 02 e, portanto, uma parte da rede que pertencia à essa sub-bacia foi destinada a sub-bacia 03. A figura 5.20 mostra a escolha da área de estudo.

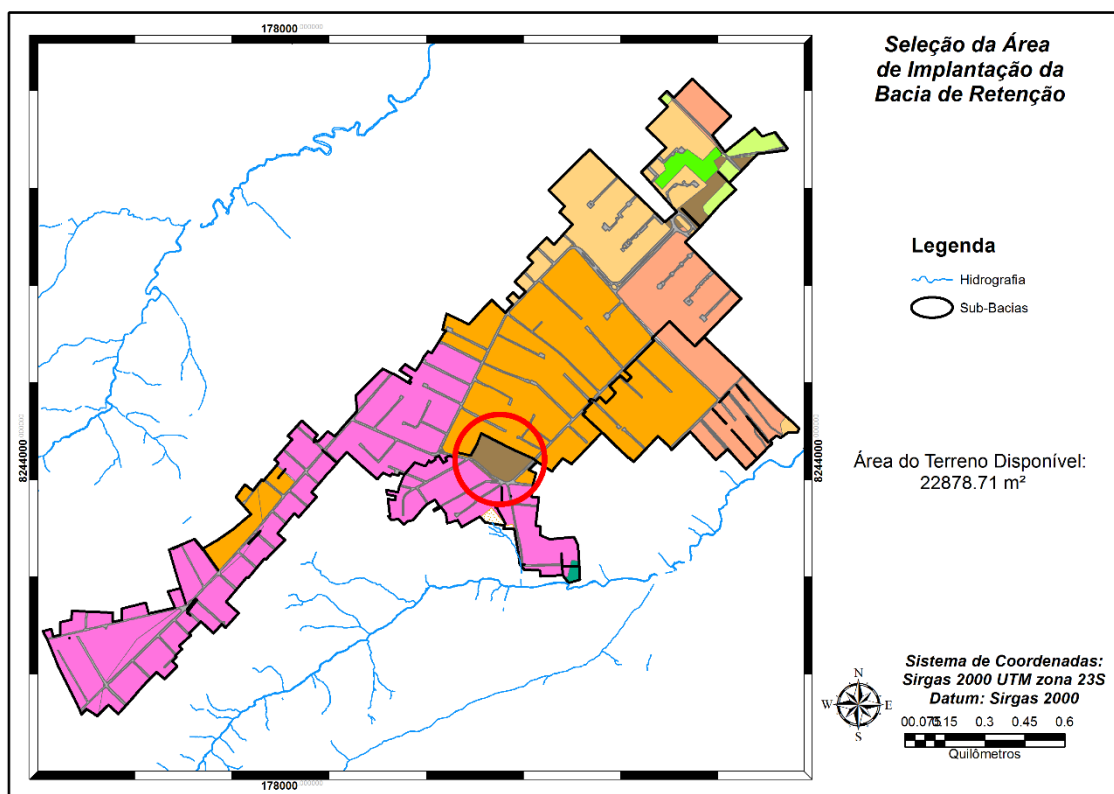


Figura 5.20 - Seleção da Área de Implantação da Bacia de Detenção

Para o cenário alternativo se calculou para a sub-bacia 03, a nova área de contribuição para de retenção, além do volume do reservatório e da vazão de saída. Os volumes das bacias de retenção, bem como suas vazões de saída permaneceram os mesmos. Os dados referentes ao reservatório de qualidade estão expostos na tabela 5.2. Além disso, calculou-se a nova área de contribuição para a sub-bacia 02, dado que parte de sua rede foi destinada a sub-bacia 03. Um pequeno problema para a implementação do cenário alternativo é vencer uma leve declividade, o que pode ser resolvido com o rebaixamento da bacia de retenção um metro, como foi feito na simulação.

Tabela 5.2 - – Volume e Vazão de Saída para a Bacia de Detenção do Cenário com Bacias de det. e ret.

<i>Reservatório</i>	<b>Volume(m³)</b>	<b>Vazão (m³/s)</b>
<i>ST 03A</i>	7303	0.085

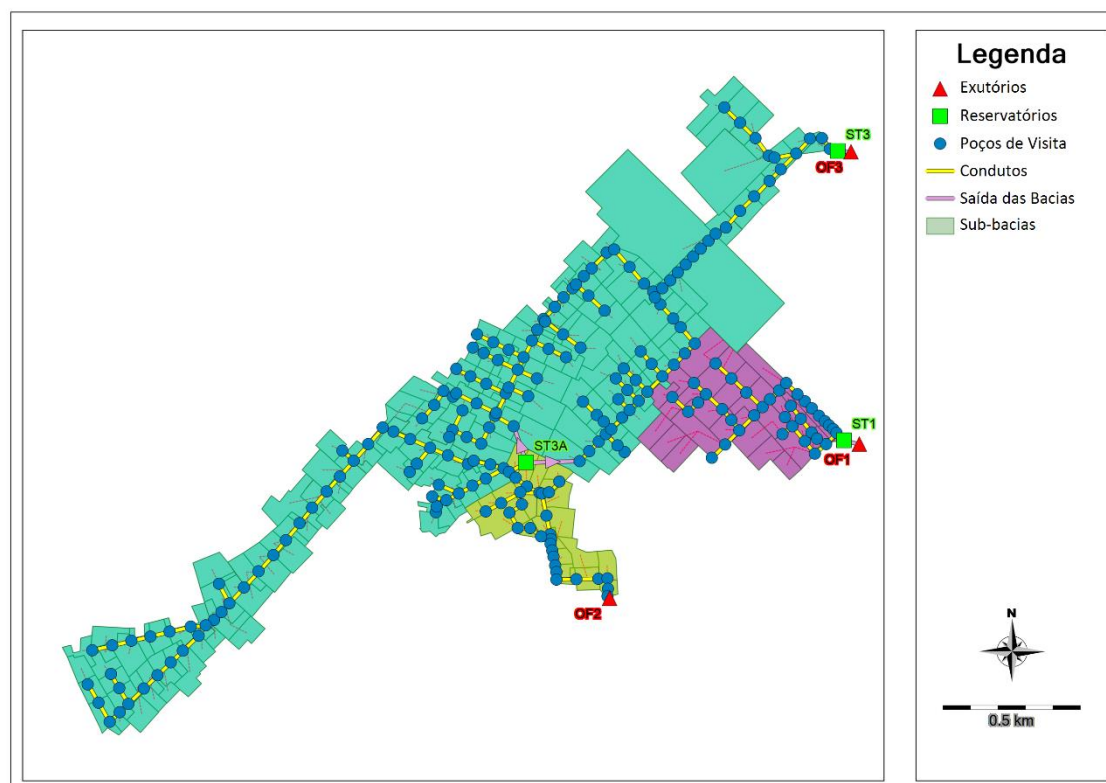


Figura 5.21 - Cenário com Bacias de det. e ret.

Em todos os cenários a declividade de cada sub-bacia foi definida a partir de um *shape* criado para isso com uma interpolação com as próprias sub-bacias, feita pelo PCSWMM. Para os cenários com rede de drenagem o número de Manning foi considerado como 0,15 como informado pela Topocart, bem como os diâmetros dos condutos foram adotados de acordo com o que foi passado pela empresa.

## 5.4 SIMULAÇÃO E COMPARAÇÃO DE CENÁRIOS

Conforme definido na metodologia, a simulação foi realizada com duas precipitações simuladas sobre as três sub-bacias, a primeira chuva utiliza a equação 4.3, a segunda utiliza o método da Novacap para dimensionamento de redes de drenagem, e que foi utilizada no projeto da Topocart/Novacap. O tempo de retorno para ambas foi de 20 anos, em concordância com o EIA de regularização da área. Após a definição de cada chuva de projeto, essas foram inseridas no programa PCSWMM e geraram os hidrogramas para cada cenário.

### 5.4.1 Chuva de Projeto do PDDU

O PDDU recomenda uma precipitação com 24 horas de duração, essa chuva foi obtida pelo método dos blocos alternados com blocos a cada 5 minutos, a duração da simulação foi de 48 horas, para garantir que todos os impactos da chuva foram levados em conta. Essa chuva foi utilizada em todos os cenários simulados para que fosse possível uma comparação entre eles.

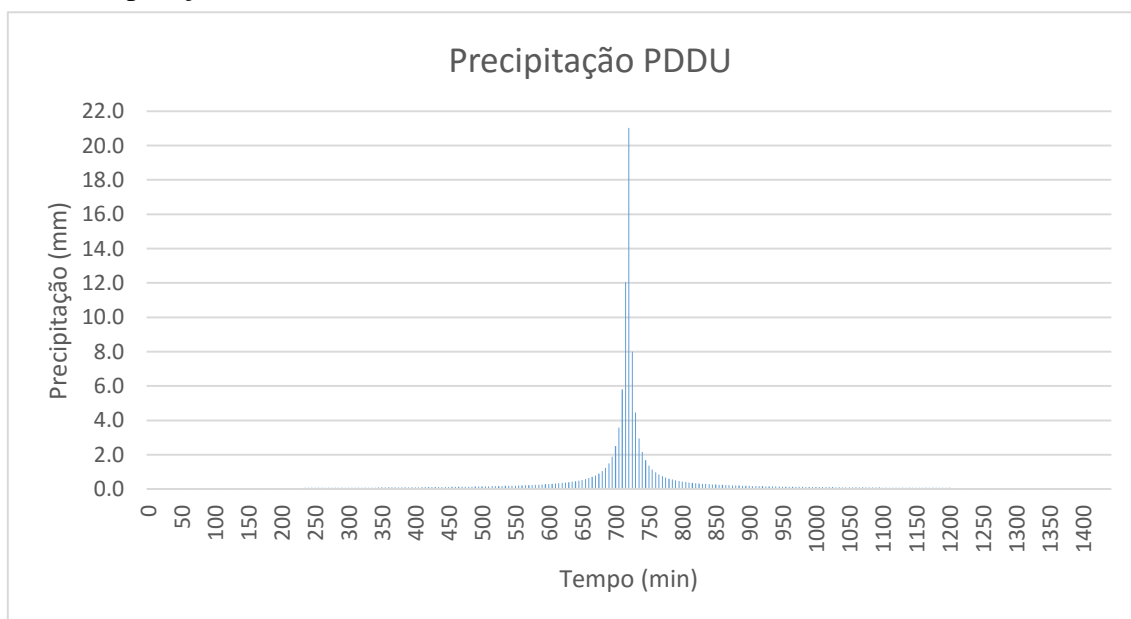


Figura 5.22 - Chuva de Projeto PDDU

A partir dessa precipitação geraram-se os hidrogramas de saída de cada sub-bacia. Para a sub-bacia 01 todos cenários são relevantes salvo o cenário com Bacia de det. e ret., visto que o cenário alternativo não causou alterações sobre ela. As vazões de saída da sub-bacia 01 estão exibidas na figura 5.23.

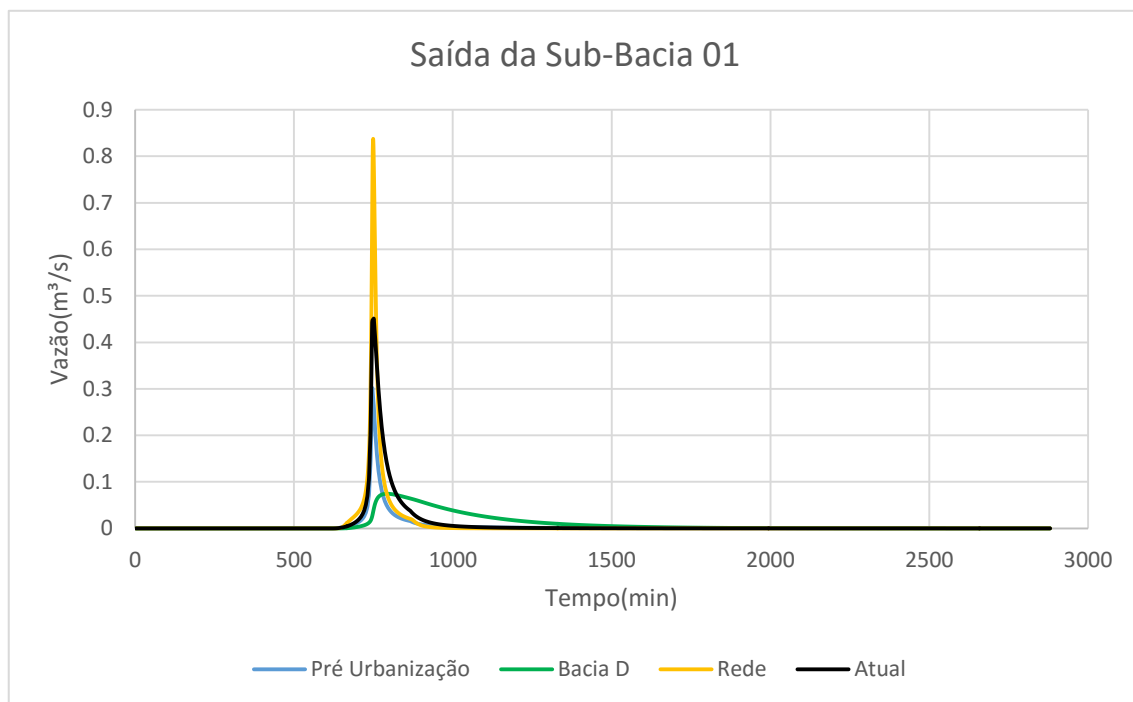


Figura 5.23 - Saída da Sub-Bacia 01

Nota-se pelo gráfico a imensa diferença entre os hidrogramas dos cenários, com destaque negativo para a cenário com Rede que possui uma vazão de pico muito acima das outras, como o esperado, essa solução sanitarista pode causar grandes danos ao corpo receptor. Outras duas comparações são válidas para a sub-bacia 01. A primeira é entre os cenários de Pré-Urbanização e o Atual, ilustrada na figura 5.24.

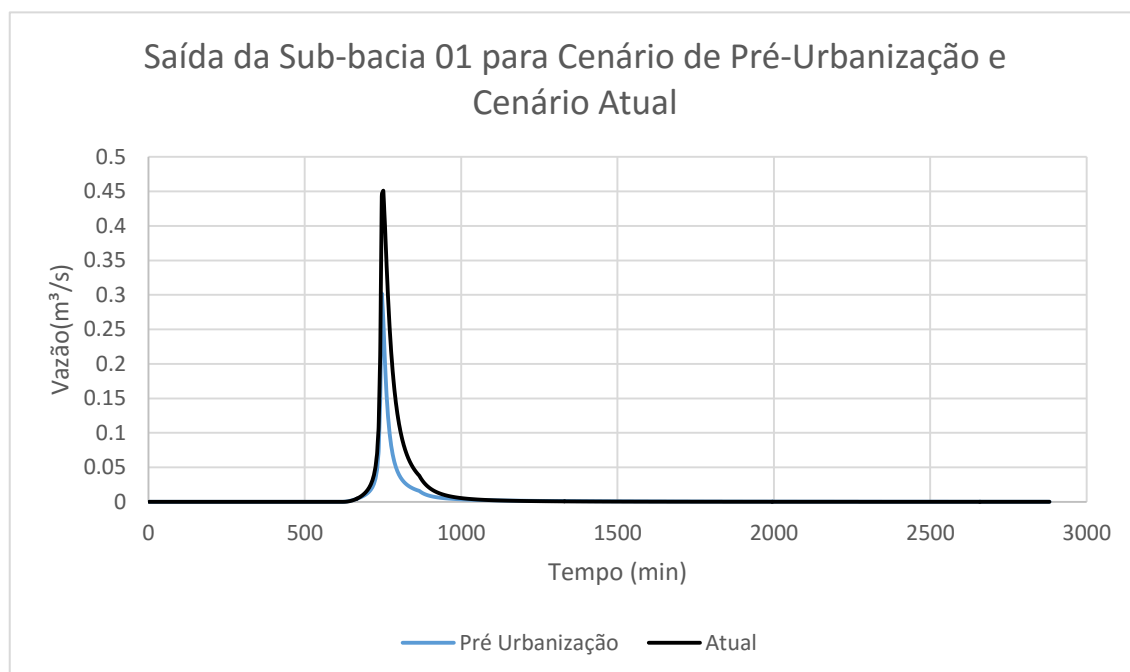


Figura 5.24 - Saída da Sub-Bacia 01 para Cenário de Pré-Urbanização e Cenário Atual



É possível constatar pelo gráfico que a vazão de saída do cenário Atual é aproximadamente 50% maior que a vazão de saída do cenário de Pré-Urbanização. Isso mostra o grande impacto gerado pela urbanização. Apesar da diferença pode-se apontar um comportamento diferente do esperado para uma situação de pré-urbanização. O esperado contaria com um pico de vazão mais demorado e menor que pode ser associado ao tipo de solo (grupo hidrológico D) encontrado, que possui um alto CN, logo há uma alta taxa de escoamento superficial. Esse comportamento para o cenário de Pré-Urbanização é similar nas outras sub-bacias. A figura 5.25 mostra a comparação entre as simulações do cenário com Rede e do cenário com Bacia.

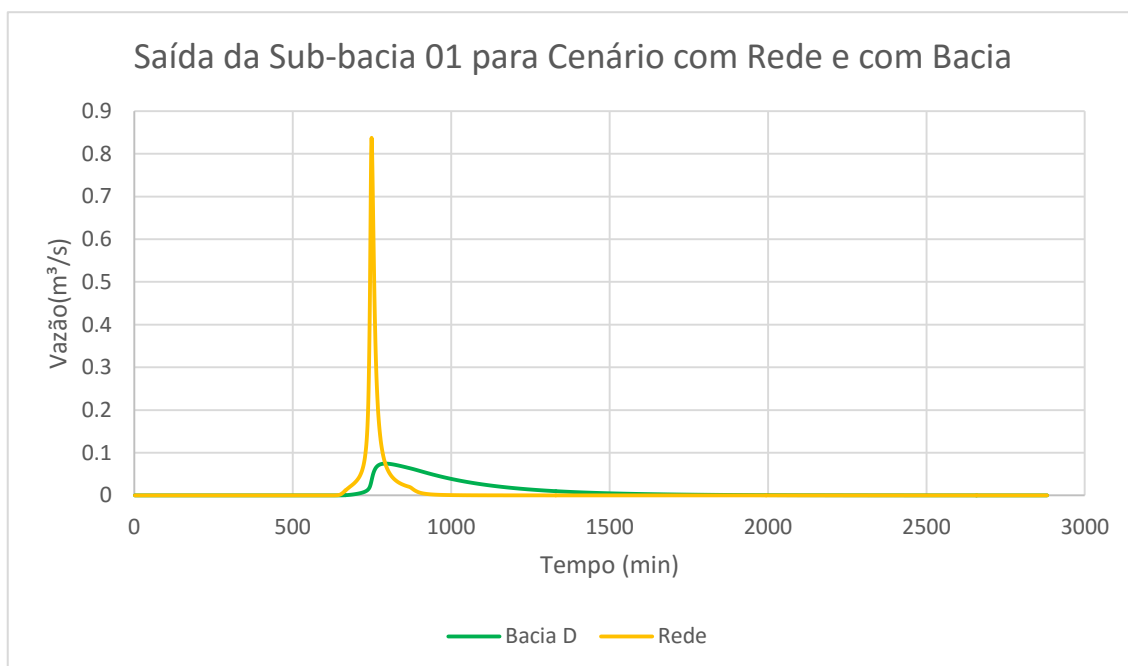


Figura 5.25 - Saída da Sub-Bacia 01 para Cenário com Rede e Cenário com Bacia

A figura permite verificar a grande contribuição da bacia de retenção para o abatimento de picos de vazão, respeitando a vazão limite de lançamento para a sub-bacia 01 de 0,075 m³/s, o volume que atinge o corpo receptor é melhor distribuído no tempo, diminuindo os impactos causados.

Para a sub-bacia 02 os cenários pertinentes são: pré-urbanização, atual, com rede e com bacias de det. e ret., dado que no projeto elaborado pela Topocart/Novacap não há nenhuma bacia de retenção ou retenção projetadas para essa sub-bacia. As vazões de saída da sub-bacia 02 estão exibidas na figura 5.26.

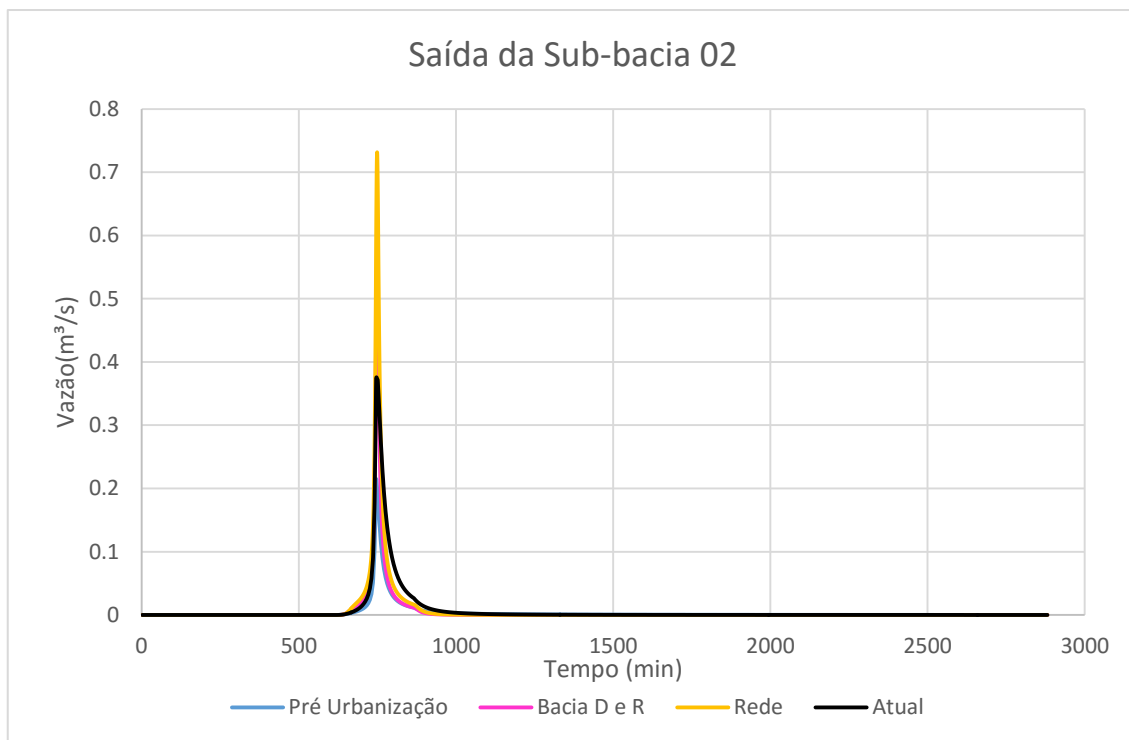


Figura 5.26 - Saída da Sub-Bacia 02

Nota-se novamente que a maior vazão é no cenário com Rede seguida pelo cenário com Bacias de det. e ret., o cenário Atual e o cenário de Pré-Urbanização, é perceptível ainda um comportamento temporal similar dos hidrogramas com picos rápidos e por fim uma leve melhora é notável no cenário com Bacias de det. e ret. em relação ao cenário com Rede, devido à parte da rede que foi redirecionada para a sub-bacia 03. Essa melhora é explicitada na figura 5.27.

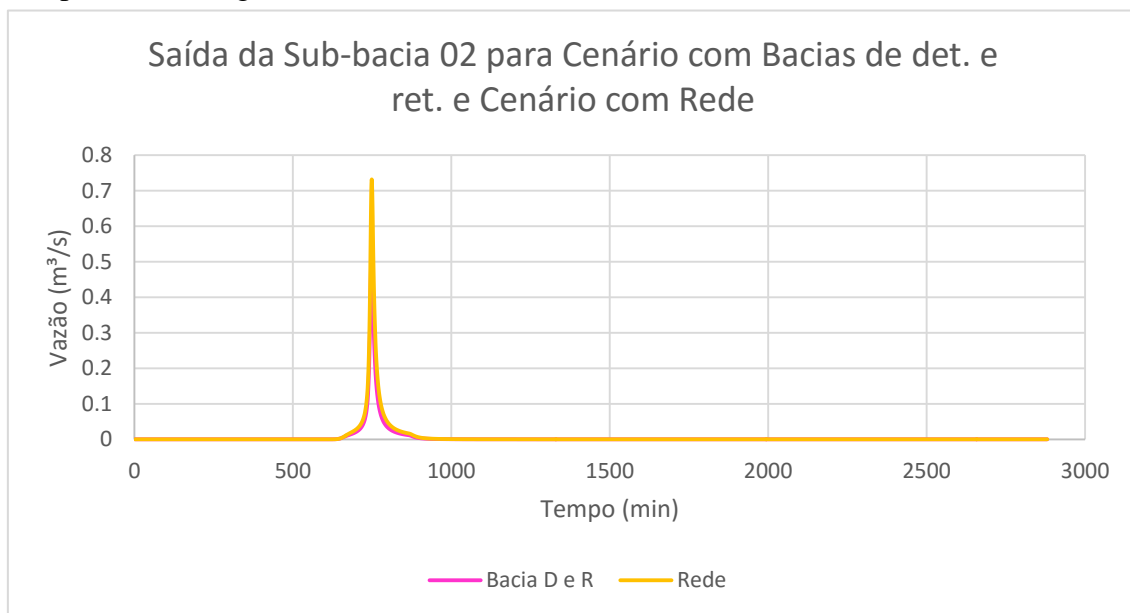


Figura 5.27 - Saídas para os cenários com Bacia Det. e Ret. E com Rede

Para a sub-bacia 03 todos os cenários têm grande importância na simulação, pois todos mostram uma mudança significativa em algum dos fatores controladores do escoamento superficial na sub-bacia. As vazões de saída da sub-bacia 03 estão explicitadas na figura 5.28.

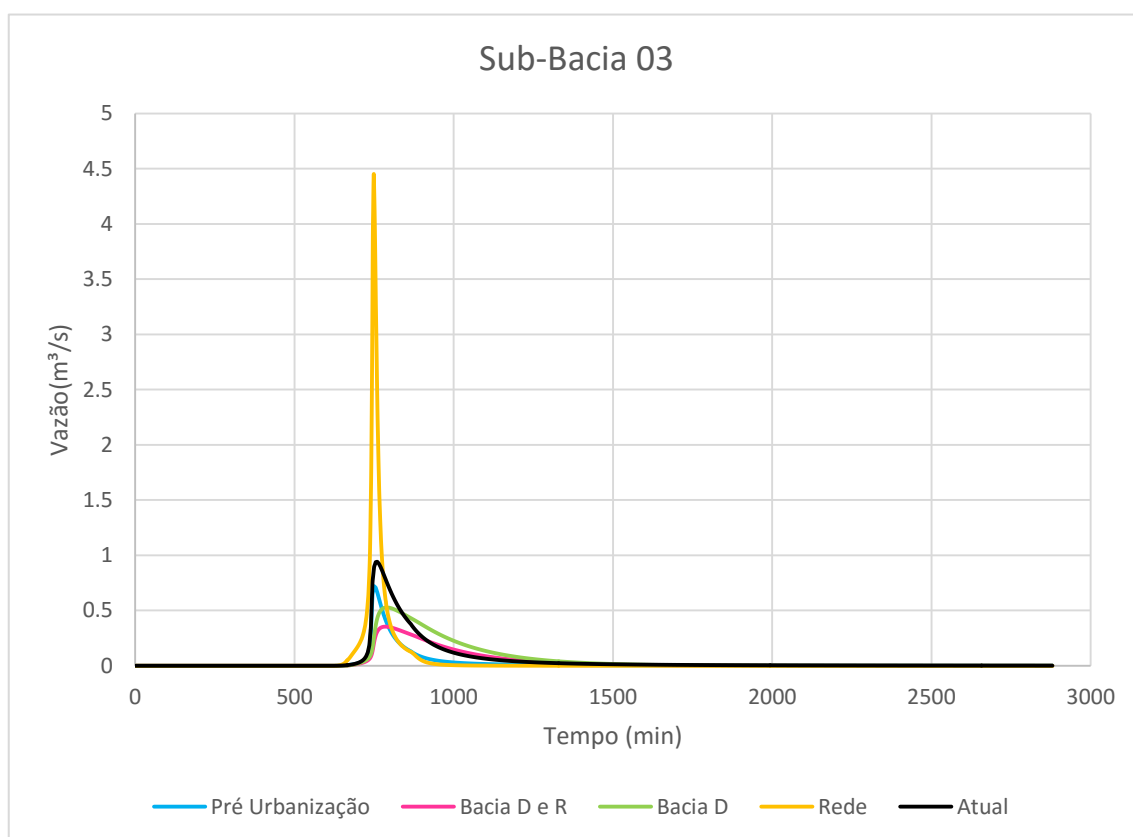


Figura 5.28 - Saída da Sub-Bacia 03

Como nas outras sub-bacias o cenário com Rede apresenta o maior pico de vazão no menor tempo, o que causa diversos problemas à jusante e no corpo receptor. Os cenários Atual e de Pré-Urbanização também apresentam comportamento similar às outras sub-bacias. Uma comparação que se faz válida é entre o cenário com Bacia, que possui uma bacia de detenção e o cenário com Bacias de det. e ret., que conta com a bacia de detenção, do cenário com Bacia sem nenhum incremento ou mudança, mais uma bacia de retenção e um pequeno aumento na área de contribuição pela rede somada da sub-bacia 01.

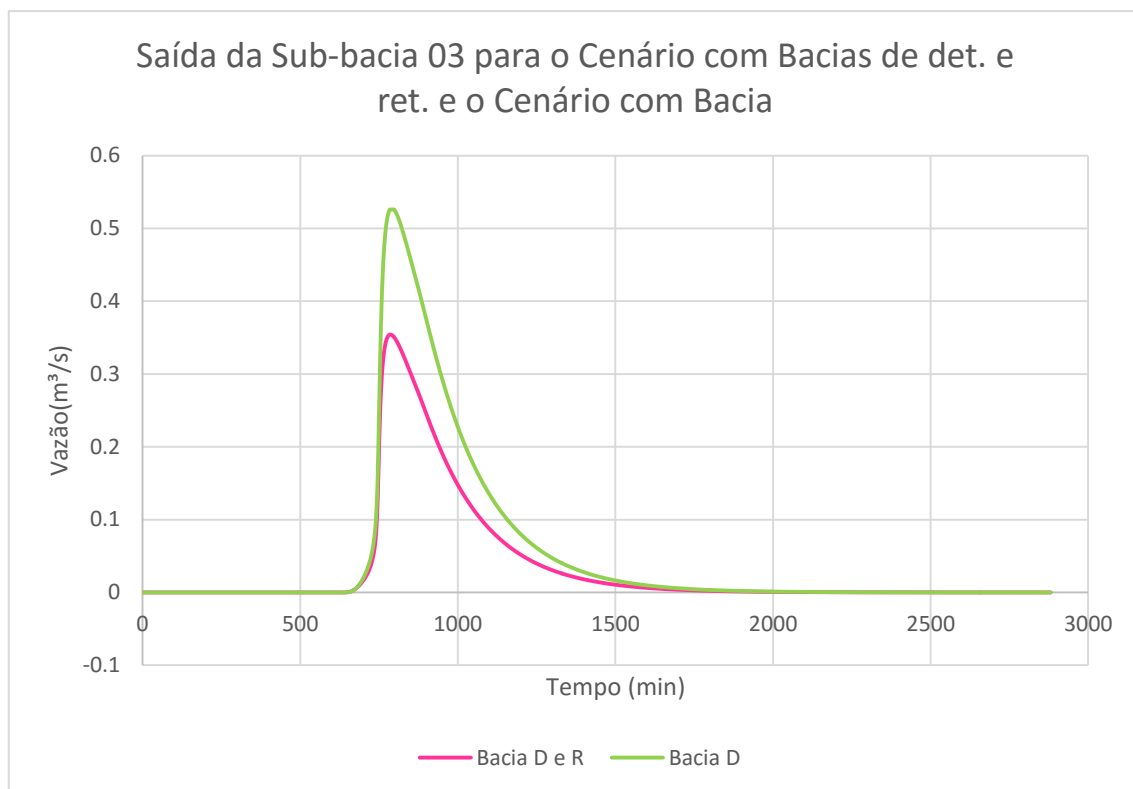


Figura 5.29 - Saída da Sub-Bacia 03 para Cenário com Bacias de det. e ret. e Cenário com Bacia

No gráfico, fica explicitado que o cenário com Bacia respeita a vazão de lançamento de 0,526 m<sup>3</sup>/s para a sub-bacia 03, é notável ainda, no cenário com Bacias de det. e ret., que mesmo sendo projetada como reservatório de qualidade e haver um incremento da área de contribuição, a bacia de retenção tem uma pequena capacidade de abater o pico de vazão, mas não tem isso como objetivo e sim evitar que poluentes cheguem ao corpo receptor.

Nos cenários que contam com a rede de drenagem houve alguns condutos que sofreram uma sobrecarga na sua capacidade, segundo o PCSWMM. Essas sobrecargas podem apontar inadequações no sistema de, entretanto nenhuma dessas sobrecargas resultou em extravasamento do sistema, o que é um sinal de que a rede foi bem dimensionada. A tabela 5.3 aponta os condutos que sofrem essas sobrecargas e em quais cenários elas foram detectadas.

Tabela 5.3 – Condutos sob Sobrecarga

Condutos	Cenários		
	Rede	Bacia D	Bacia D e R
C167	X	X	
C128			X
C129			X

Um dos motivos para a sobrecarga ter acontecido no cenário com Bacias de det. e ret. pode estar associado ao redimensionamento da rede, feito após as adequações para a implantação da bacia de retenção, o redimensionamento realizado calcula os novos diâmetros para os condutos por meio de uma ferramenta do PCSWMM que a partir de um diâmetro mínimo, nesse caso 0,9 m, determina os novos diâmetros, esses condutos tiveram seu diâmetro reduzido. O conduto 'C167' apresenta melhora quando seu diâmetro passa de 0,5 para 0,6 m, conforme foi feito no cenário alternativo. A figura 5.30 mostra a sobrecarga nos condutos 'C128' e 'C129', que não chega a atuar sob pressão mas tem grande parte de seu volume preenchido.

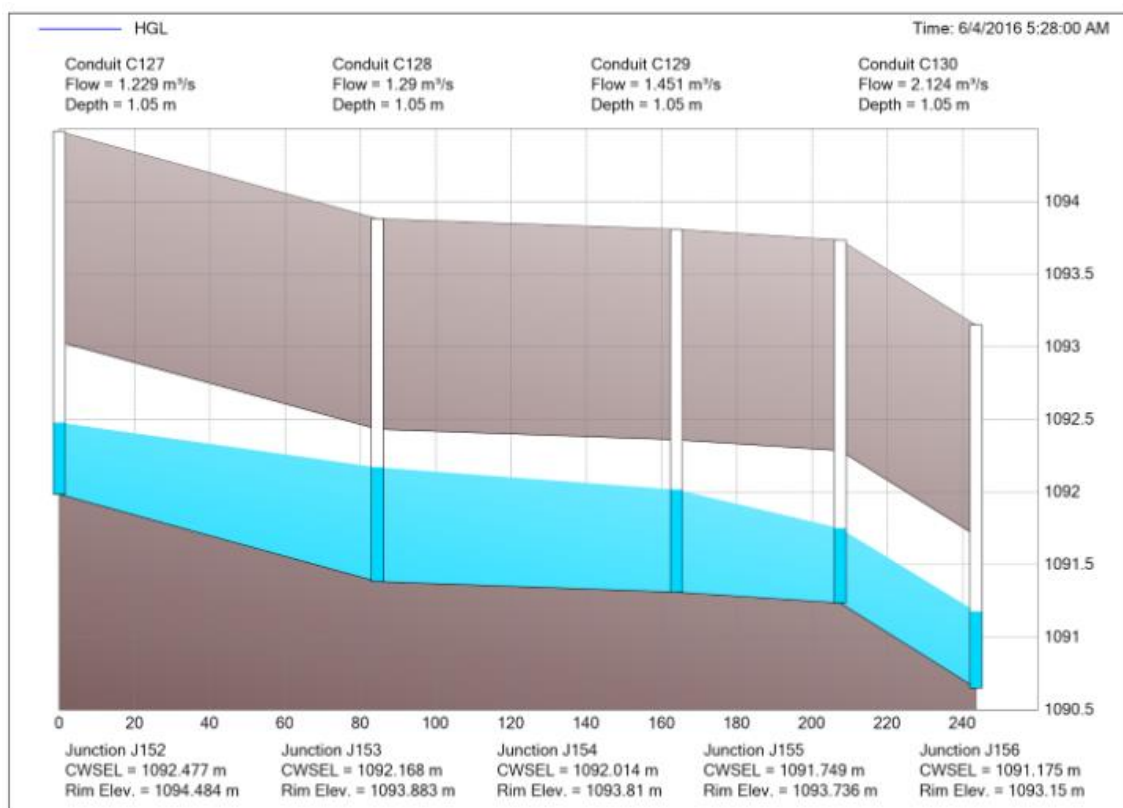


Figura 5.30 - Conduitos C128 e C129 com Sobrecarga

As localizações dos condutos C128, C129 e C167, que sofreram sobrecarga, estão explicitadas na figura 5.31 e 5.32. Todos eles pertencem à sub-bacia 03.

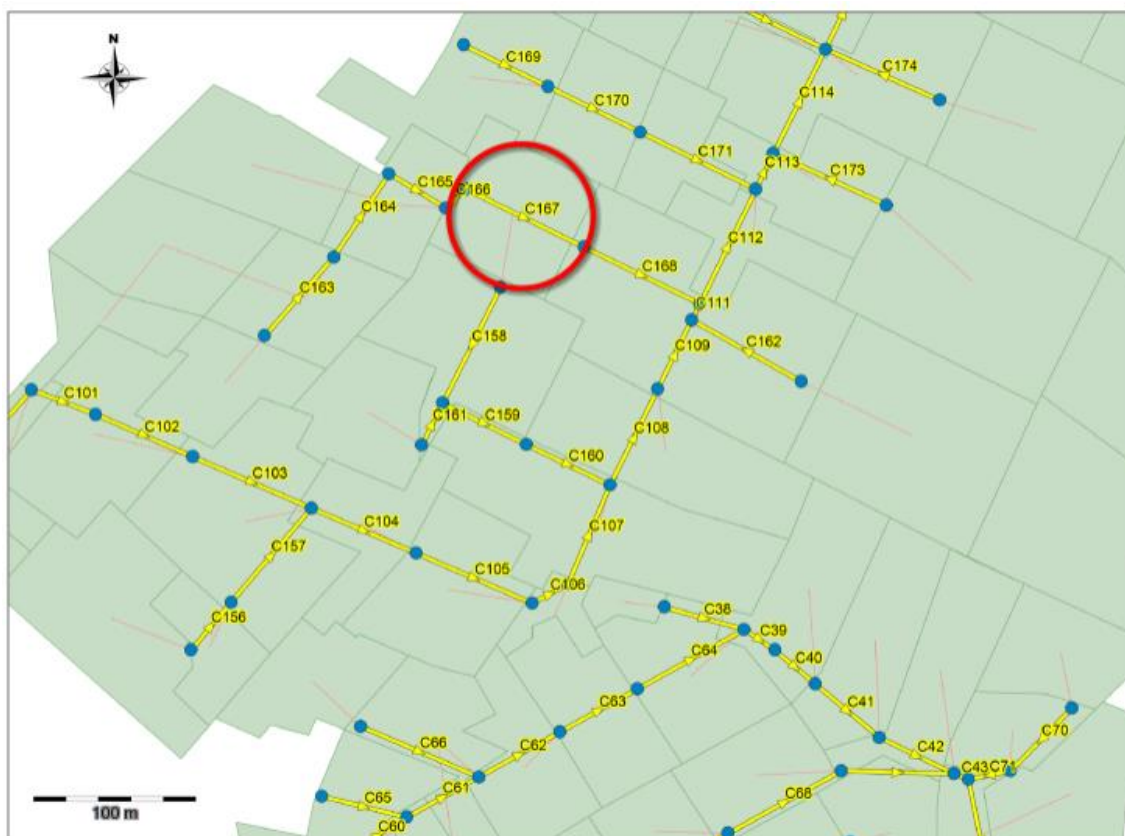


Figura 5.31 - Localização do Conduto C167 com Sobrecarga em Cenário com Rede e Cenário com Bacia

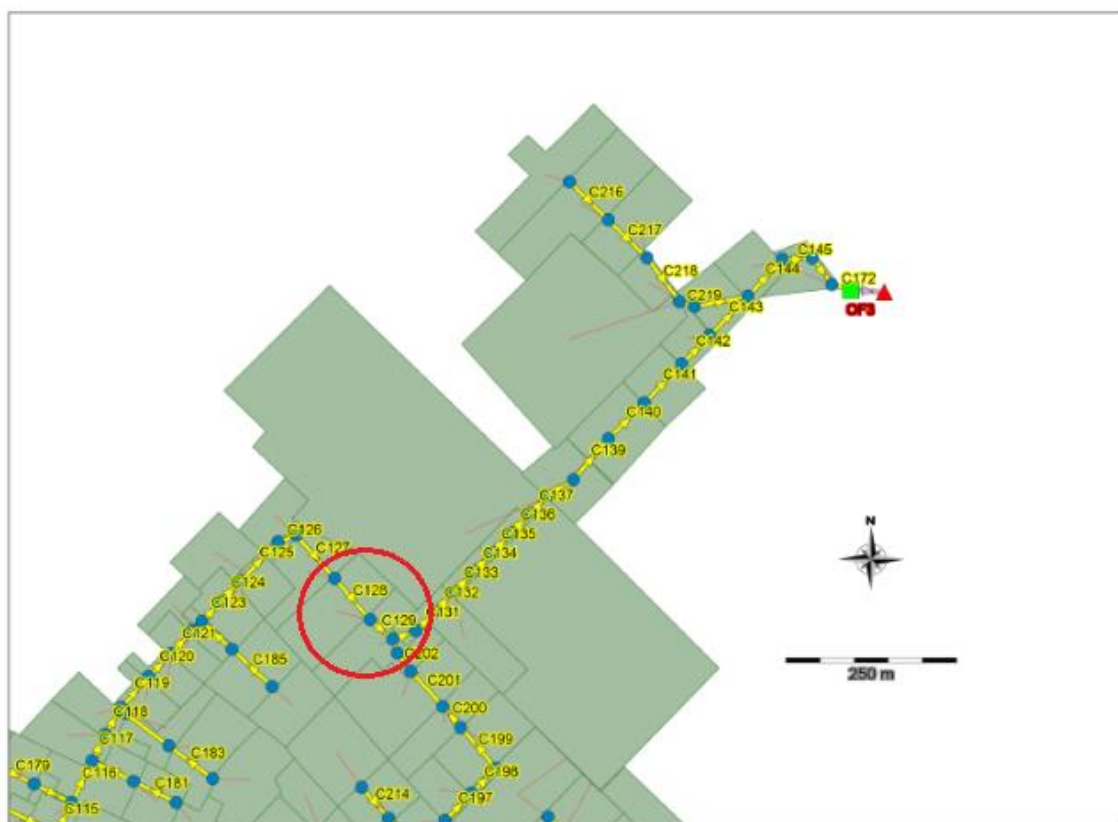


Figura 5.32 - Localização dos Condutos C128 e C129 com Sobrecarga em Cenário com Bacias de det. e ret.

#### 5.4.2 Chuva de Projeto da NOVACAP

Para o dimensionamento da chuva de projeto da Novacap, fez-se necessário o cálculo do tempo de concentração pela equação 4.2, o tempo de concentração calculado foi determinado para a sub-bacia 03, por ser a de maior comprimento, e considerou-se a mesma chuva para as outras sub-bacias. Com declividade aproximada de 0,0418 m/m e comprimento aproximado de 3540 m, o tempo de concentração é igual a 41,15 min. Uma vez determinado o tempo de detenção foi possível calcular a chuva de projeto para um tempo de retorno de 20 anos. A precipitação gerada tem 1,39 mm e é constante.

Após a determinação da chuva, sua inserção no modelo utilizado e a simulação dos cenários, geraram-se os hidrogramas relevantes para cada sub-bacia. Os cenários são os mesmos para cada área que os gerados para a chuva de projeto do PDDU, portanto seguem a mesma lógica para justificativa de quais são relevantes ou não para aquela sub-bacia. Os valores do hidrogramas também se mantiveram próximos, o que é uma forma de validação dos resultados, com um aumento notável dos hidrogramas para a chuva da Novacap.

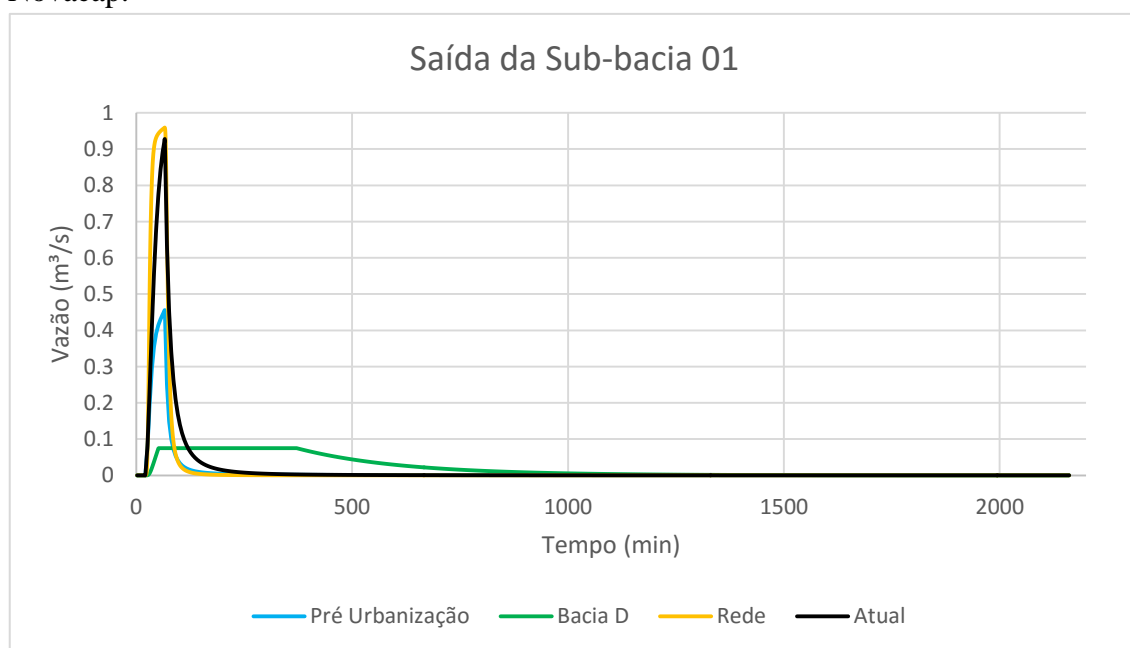


Figura 5.33 - Saída da Sub-Bacia 01

A figura 5.33 mostra as vazões de saída da sub-bacia 01 para cada um dos cenários, como dito anteriormente os hidrogramas são maiores e também são mais rápidos, visto que se trata de uma chuva uniforme no tempo, então a resposta em todos os cenários foi mais rápida que com a chuva do PDDU, outro dado interessante é a saída no

cenário com Bacia, como a vazão que chega no reservatório é maior em um curto período, o lançamento se mantém com a vazão máxima de 0,075 m<sup>3</sup>/s durante um certo período.

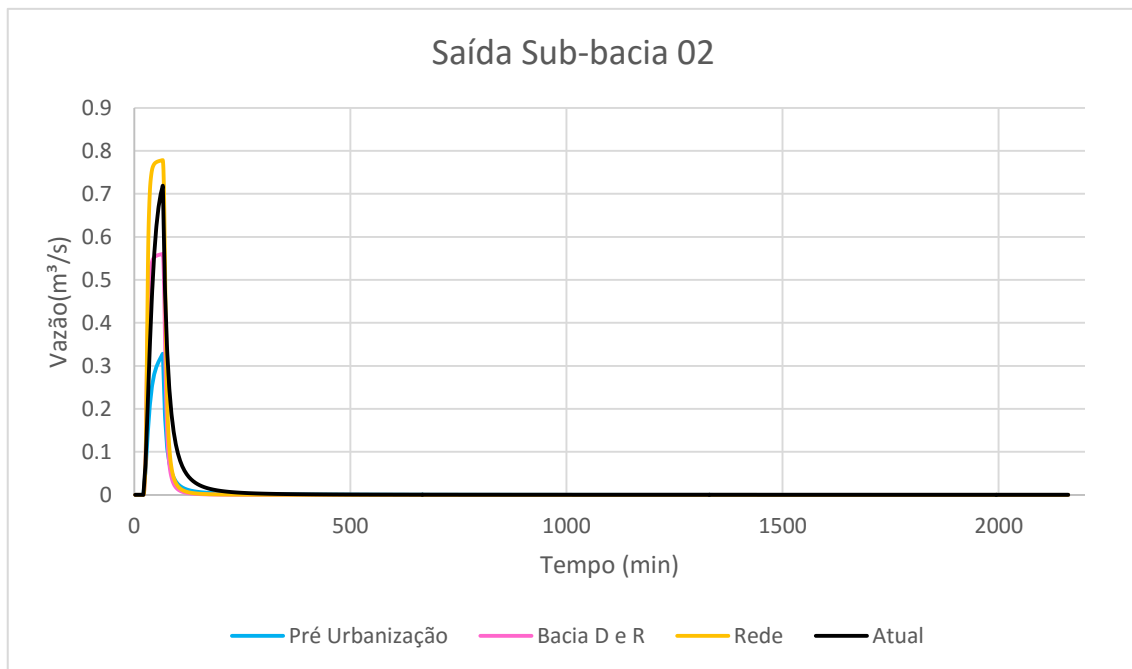


Figura 5.34 - Saída da Sub-Bacia 02

O comportamento dos hidrogramas na sub-bacia 02 é muito próximo ao visto com a chuva do PDDU, contudo nota-se que os hidrogramas do cenário Atual foram maiores para as duas sub-bacias em relação à outra precipitação, pode-se imaginar que com uma chuva mais concentrada, as áreas permeáveis saturam e o escoamento passa a predominar nas sub-bacias.

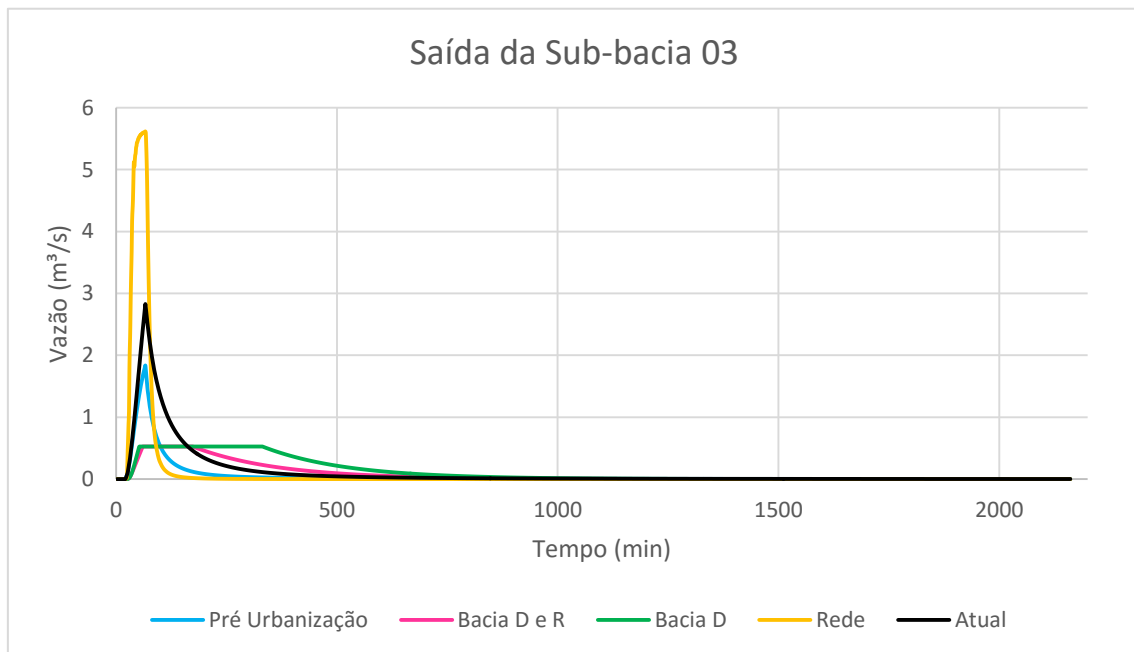


Figura 5.35 - Saída da Sub-Bacia 03



A saída da sub-bacia 03 tem um comportamento próximo ao que foi encontrado na precipitação do PDDU com um pico mais acentuado para os cenários de Pré-Urbanização e o Atual, é perceptível também que os cenários com Bacia e Cenário com Bacias de det. e ret. mantém a vazão máxima de saída durante um certo tempo, menor para o cenário Cenário com Bacias de det. e ret., como ocorreu na sub-bacia 01.

Assim como na chuva do PDDU houve alguns condutos que sofreram sobrecarga. Ainda assim nenhum desses condutos apresentaram extravasamento o que poderia resultar em alagamentos ao longo do sistema. Como a chuva projetada da Novacap tem maior concentração, houve mais condutos com sobrecarga como mostra a tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Condutos sob Sobrecarga

Condutos	Cenários		
	Rede	Bacia D	Bacia D e R
<b>C167</b>	X	X	
<b>C30</b>	X	X	X
<b>C37</b>	X	X	X
<b>C128</b>			X
<b>C129</b>			X

Além dos condutos identificados com sobrecarga anteriormente, na chuva do PDDU, é notável a sobrecarga sobre dois condutos adicionais o ‘C30’ e ‘C37’, esses condutos pertencem a sub-bacia 01 e possuem 0,4 m de diâmetro, o diâmetro mínimo da rede, como esses recebem vazão vindo de outros condutos uma solução poderia ser aumentar seus diâmetros para 0,5 m. O PCSWMM tem uma ferramenta a qual mostra quais condutos estão com maior volume a partir da coloração e do tamanho que esses assumem, a figura 5.36 mostra os condutos ‘C30’ e ‘C37’, em seu momento de maior sobrecarga.

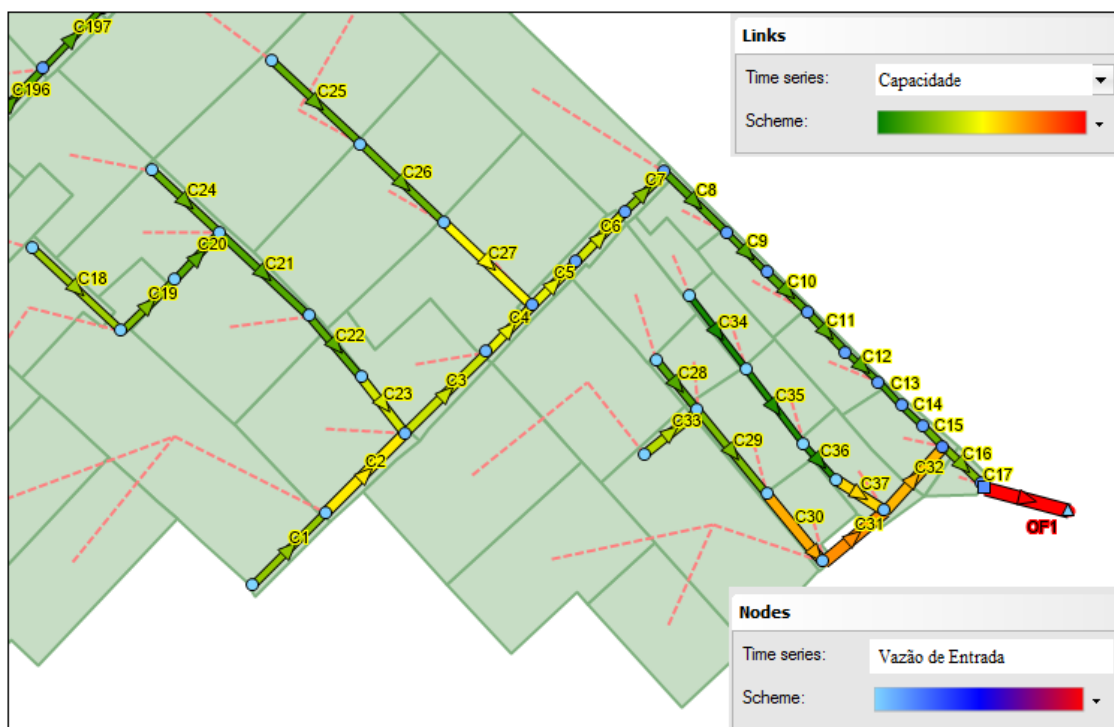


Figura 5.36 - Animação do PCSWMM para a Sub-bacia 02

## 5.5 BACIAS SEM CONTROLE DE VAZÃO NA SAÍDA

O controle de vazão na saída das bacias é de extrema importância para o seu bom funcionamento sem esse controle as bacias deixam de retardar o fluxo e ainda despejam grandes picos de vazão sobre o corpo receptor.

Para mostrar essa diferença foram idealizados dois novos cenários: O primeiro é semelhante ao cenário com bacia, contudo esse não possui o controle determinado na saída da bacia de detenção. O segundo é equivalente ao cenário com bacia de det. e ret., e, da mesma forma que o anterior, esse não possui controle na saída das bacias de detenção e retenção. A simulação foi realizada apenas para a chuva da Novacap, onde a situação é mais notável. As figuras 5.37 e 5.38 ilustram para a sub-bacia 03 a importância desse controle de vazão.

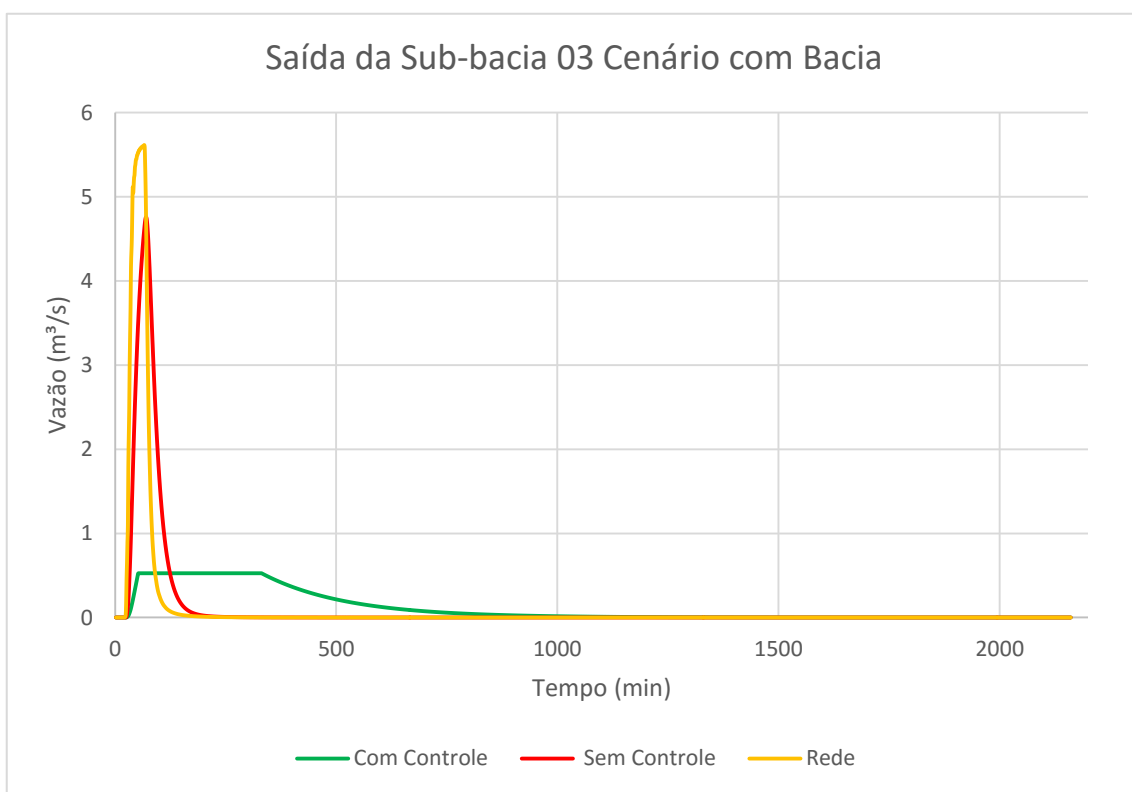
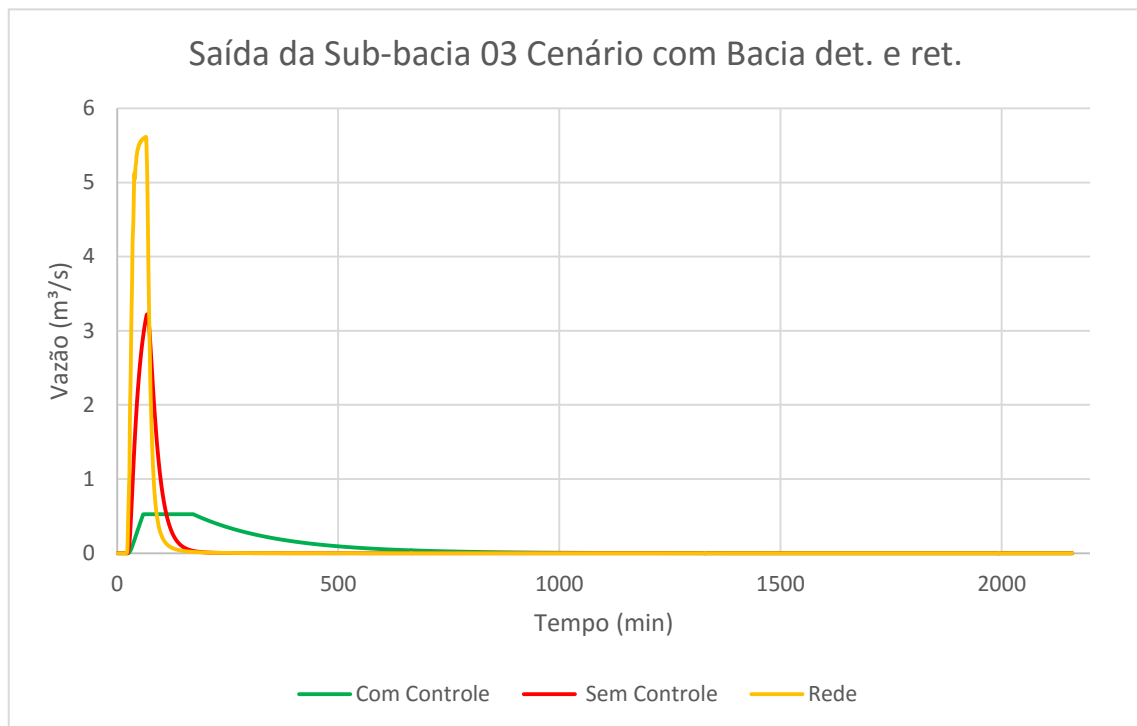


Figura 5.37 - Saída da Sub-bacia 03 com Bacia de Detenção



*Figura 5.38 - Saída da Sub-bacia 03 com Bacia de Detenção e Retenção*

As duas figuras mostram que sem o controle na saída das bacias os picos são maiores e de menor duração, contudo, as bacias ainda assim diminuem o pico de vazão despejado no corpo d'água em relação as redes de drenagem sem esses dispositivos, com destaque para a combinação das bacias que reduziu o pico em aproximadamente 45%.

## 6 CONCLUSÕES

Pôde-se, por meio dos resultados obtidos, relacionar o uso e ocupação do solo e as formas de manejo das águas pluviais a diferentes respostas do escoamento superficial gerado no SHAr. Fatores como declividade e grupo hidrológico do solo também mostraram grande influência sobre esse escoamento.

A urbanização se mostrou como o grande fator transformador hidrológico da área de estudo, por aumentar os picos de vazão de uma região que já sofria com a baixa permeabilidade de seu solo.

O modelo PCSWMM se mostrou um instrumento de gestão extremamente útil por sua versatilidade e simplicidade no uso. O modelo permitiu uma análise das diferentes respostas aos cenários introduzidos, com a necessidade de poucos dados de entrada, além de permitir a manipulação de diversos parâmetros. Entretanto, uma calibração permitiria desde uma confirmação dos resultados obtidos, até uma adaptação dos cenários para uma aproximação da situação real.

Os hidrogramas gerados pelas chuvas simuladas tiveram comportamentos próximos, o que demonstra a influência do uso e ocupação do solo sobre a bacia urbana, até mesmo os valores de pico foram próximos, o que demonstra uma resposta condizente das sub-bacias aos eventos de precipitação. A calibração seria uma forma de indicar a validade dos resultados.

A rede proposta pela Topocart/Novacap não apresentou nenhum ponto de inundação e apresentou alguns poucos pontos de sobrecarga, mas sem maiores prejuízos ao sistema de drenagem, o que pode ser um indicativo de que a rede de drenagem foi bem projetada. Contudo ela aumenta o deflúvio mesmo em comparação com a situação atual, o que é atenuado pelas técnicas compensatórias, que ainda assim se apresentam em área de proteção permanente - APP uma vez que se localizam próximas dos corpos d'água.

As bacias de retenção apresentaram um bom desempenho no controle do volume escoado, diminuíram o pico de vazão gerado e se mantiveram abaixo da vazão de saída, mesmo quando essa chegou ao seu limite máximo. As bacias de retenção também apresentaram uma baixa no hidrograma, contudo essa foi relativamente pequena, o que é totalmente aceitável, uma vez que as bacias de retenção têm como objetivo a redução das concentrações de contaminantes nas águas de escoamento. Um ponto importante à essas

duas formas de bacia é o seu controle na saída que aumenta significativamente a eficiência delas.

Esse trabalho apresentou algumas das consequências do uso e ocupação do solo indiscriminado sobre uma bacia urbana, além das diferentes práticas de manejo das águas pluviais geradas sobre a mesma por meio de simulação em um modelo matemático. Trabalhos complementares que avaliem além da quantidade de escoamento superficial, a qualidade desse escoamento e a localização das bacias de retenção fora das APPs, podem ser de grande valia.

## REFERÊNCIAS

ADASA. Governo do Distrito Federal. Resolução 9 de 08 de abril de 2011. Estabelece os procedimentos gerais para requerimento e obtenção de outorga de lançamento de águas pluviais em corpos hídricos de domínio do Distrito Federal e naqueles delegados pela União e Estados. ADASA, Brasília, 2011.

Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios. **Cambissolos**. Governo do Estado de São Paulo. São Paulo.

ALESSI, F.; KOKOT, P.J.; GOMES, J. **Comparação Do Escoamento Superficial gerado Por Pavimentos Permeáveis Em blocos De Concreto E Asfalto Poroso**. Curitiba, 2006.

American Society of Civil Engineers. **Design and Construction of Urban Stormwater Management Systems**, ASCE – Manuals and Reports on Engineering Practice No. 77. American Society of Civil Engineers and the Water Environment Federation. New York, NY. 1992.

ARAÚJO, D. L.; ALMEIDA, W.S. **Determinação de processos erosivos laminares por ferramentas de geoprocessamento**. Universidade de Brasília. Brasília, 2015.

BALABRAM, P.R. **Dissertação: Utilização De Indicador Geomorfológico Para Fixação De Medidas De Controle De Cheias Em Áreas Urbanas Estudo De Caso: Brasília – DF**. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2007.

BAPTISTA, M., NASCIMENTO, N., BARRAUD, S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**, Porto Alegre. ABRH, 2005. 266 p.

BASTOS, E.; PINHEIRO, L. **Projeto Técnico: Reservatórios de Detenção**. Programa Soluções para as Cidades. 2012.

BENINI, R. M.; MEDIONDO, E. M. **Urbanização e Impactos no Ciclo Hidrológico na Bacia do Mineirinho**. Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo – USP. São Carlos, 2015.

CONCREMAT. **Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal**. Concremat Engenharia. Brasília, 2008.

COSTA, M.E.L (2013). **Monitoramento e modelagem das águas da drenagem urbana na bacia do lago Paranoá**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-148/2013, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 179p.

COUTINHO, A. P. **Pavimento Permeável Como Técnica Compensatória Na Drenagem Urbana Da Cidade Do Recife**. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Pernambuco). Recife, 2011.

CUNHA, C.S.; BRUSACA, S. S.; CAVALCANTI, F.A., LOPES, M.A.; PACHECO, J. **Impactos Ambientais Decorrentes Da Ocupação Espontânea No Bairro Divineia. São Luís-MA.**

DECINA, T.G.T.; BRANDÃO, J.L.B. **Análise De Desempenho De Medidas Estruturais E Não Estruturais De Controle De Inundações Em Uma Bacia Urbana**. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental. São Carlos, 2016.

DINIZ, A. C. **Grandes Bacias Hidrográficas de Angola - Recursos em terras com aptidão para o regadio** – Rio Cunene, IPAD, Lisboa. 2005.

DISTRITO FEDERAL. Lei Complementar no 803, de 25 de Abril de 2009. Aprova a revisão do Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal - PDOT e dá outras providências. Brasília, 2009.

DURRANS, S.R. **Stormwater Conveyance Modeling and Design**. Exton, Pennsylvania USA. Bentley Institute Press, 2007. 688 p.

FERNANDES, C.Y. **Monografia: Drenagem Urbana: Análise de Problemas de Novos Loteamentos, Estudo de Caso da Cidade Estrutural – DF**. Universidade de Brasília. Brasília, 2015.

FERRIGO, S. **Dissertação: Análise de consistência dos parâmetros do modelo SWAT obtidos por calibração automática – Estudo de caso da bacia do lago Descoberto – DF**. Universidade de Brasília. Brasília, 2014.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Características da População**. Disponível em <<http://7a12.ibge.gov.br/vamos-conhecer-o-brasil/nosso-povo/caracteristicas-da-populacao.html>>. Acesso em 15 de dezembro de 2015.



JOKSIMOVIC, D.; ALAM, Z. **Cost Efficiency of Low Impact Development (LID) Stormwater Management Practices**. Procedia Engineering 89. Toronto, Ontario, Canada, 2014.

LIMA, H.M.; SILVA, E.S.; RAMINHOS, C. **Bacias De Retenção Para Gestão Do Escoamento: Métodos De Dimensionamento E Instalação**. Revista Escola de Minas. Ouro Preto, 2006.

LUCAS, W.C.; SAMPLE, D.J. **Reducing Combined Sewer Overflows By Using Outlet Controls For Green Stormwater Infrastructure: Case Study In Richmond, Virginia**. Journal of Hydrology 520. Virginia Beach, VA, United States, 2015.

MACHADO, J.A.; MELO, O.A.; TERRA, R.P. **Salubridade Ambiental Em Área De Ocupação Espontânea Na Microrregião De Gargaú, São Francisco De Itabapoana, Rio De Janeiro**. Centro Federal de Educação Tecnológica de Campos – CEFET. Caxambu, MG, 2007.

MDDEFP - Ministère du Développement Durable, de L'environnement, de La Faune et des Parcs et MAMROT - Ministère Des Affaires Municipales, des Régions Et de L'occupation du Territoire. **Guide de Gestion des Eaux Pluviales**. Québec, 2014. 386 p.

NEW JERSEY, **New Jersey Stormwater Best Management Practices Manual**. New Jersey – USA, 2016.

PAULA, A.C.V. **Monografia: Drenagem Urbana: Análise de Problemas de Novos Loteamentos, Estudo de Caso do Setor Habitacional Vicente Pires**. Universidade de Brasília. Brasília, 2015.

Ravazzani, G.; Amengual, A.; Ceppi, A.; HOMAR, V.; ROMERO, R.; LOMBARDI, G.; MANCINI, M. **Potentialities Of Ensemble Strategies For Flood Forecasting Over The Milano Urban Area**. Journal of Hydrology 539. Milano, Italy; Mallorca, Spain, 2016.

ReCESA - COSTA, A. R.; SIQUEIRA, E. Q.; MENEZES FILHO, F.C. M. **Curso Básico de Hidrologia Urbana: nível 3 ReCESA**. Brasília, 2007. 130p.

RIGHETTO, A. M. **Manual de Águas Pluviais Urbanas**. ABES. Rio de Janeiro, 2009. 396 p.

Rossman, L. A. **Storm Water Management Model User's Manual Version 5.0**. Cincinnati: U. S. Environmental Protection Agency. USA, 2009.

SARTORI, A.; NETO, F. L.; GENOVEZ, A. M. **Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação**. São Paulo, 2005.

SCHERER, R.B.; SANTOS, R.C. **Inundações Em Centros Urbanos: Impactos Ambientais Gerados Pelo Crescimento Populacional**. Revista Brasileira De Gestão Ambiental. Pombal, 2012.

SETTY, K. **Design Manual: Retention Basin**. Bren School of Environmental Science and Management, University of California, Santa Barbara – USA.

SILVA, M.K. **Dissertação: Modelo de Pré-dimensionamento de Bacias de Detenção para Controle da Poluição Difusa das Águas Pluviais no Porto Alegre**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Porto Alegre, 2009.

SILVEIRA, A.L.L. **Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre, 2004.

STORM WATER MANAGEMENT MODEL – USER'S MANUAL. **EPA SWMM 5.0 Modelo de Gestão de Drenagem Urbana: Manual do Usuário**. Tradução pelo Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento Universidade Federal da Paraíba, UFPB, João Pessoa, Brasil. PROCEL SANEAR, 2012. 280 p.

TERRACAP, TOPOCART. **Estudo De Impacto Ambiental E Relatório De Impacto Ambiental - EIA/RIMA: Regularização Do Setor Habitacional Arniqueira**. Governo do Distrito Federal – GDF. Brasília, 2014. 671 p.

TOMAZ, P. **Hietograma Pelo Método Dos Blocos Alternados**. 2010.

TOMAZ, P. **Infiltração usando o Método do número da curva CN do SCS**. 2011.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J.C. **Inundações na América do Sul**. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre, 2003.